



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA



IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO PARA LA CARGA DE BATERIA

LORENZO VILLANUEVA GUTIÉRREZ

PROYECTO FINAL DE CARRERA

Para la obtención del título de Ingeniero Técnico eléctrico

Profesor supervisor:

JUAN DIXON ROJAS

Santiago de Chile, (Mayo, 2009)

**A nuestros padres,
hermanos, amigos y todos
los que nos apoyaron
durante la realización de
este proyecto**

AGRACEDIMIENTOS

Este proyecto no lo hubiéramos podido llevar a cabo sin la ayuda de profesores, compañeros, amigos y familiares tanto en Chile como en la distancia.

En primer lugar agradecer a nuestro profesor supervisor Don Juan Dixon Rojas. Su gran ayuda y consejos proporcionados a lo largo de toda nuestra estancia han hecho realidad la culminación exitosa de este proyecto. También su comprensión en nuestra situación de intercambio nos ha sido de gran ayuda.

A los compañeros de laboratorio, Javier, Max, Sebastián, Carlos y Alex por su ayuda y disposición siempre que ha sido necesario.

En especial agradecer la ayuda ilimitada y compañía brindada por Eduardo Cea durante todo este periodo, por su disponibilidad en todo momento y así solucionar cualquier problema que se nos presentara.

Finalmente queríamos agradecer a toda nuestra familia y en especial a nuestros padres por su apoyo incondicional desde la distancia. También a nuestros compañeros de departamento y amigos que siempre han valorado y reconocido nuestro trabajo, haciendo nuestra estadía en Chile mucho más amena.

*Nota: El proyecto lo realizamos entre mi compañero Iñigo Lara y yo, y fue entregado a la Universidad católica de Chile una copia en conjunto. Es por ello que aparecerán expresiones en plural.

ÍNDICE

1. Introducción.....	5
1.1. Energías Renovables.....	5
1.2. Energía solar.....	9
1.3. Vehículo eléctrico.....	13
2. Celdas solares.....	17
2.1. Historia de la celda fotovoltaica.....	17
2.2. Funcionamiento y tipos de celdas.....	18
2.3. Aplicaciones de las placas solares.....	22
3. Sistema fotovoltaico.....	23
3.1. Circuito equivalente.....	24
3.2. Diodos Bypass.....	27
3.3. MPPT.....	27
4. Conclusiones y trabajo futuro.....	31
5. Bibliografía.....	33
ANEXOS.....	36
ANEXO I Características de los materiales.....	37
ANEXO II Calculo de R_s y R_p	39
ANEXO III Proceso de realización.....	41
ANEXO III.I Renovación de las celdas.....	41
ANEXO III.II Construcción de la estructura.....	50
ANEXO IV Planos.....	55
ANEXO V Presupuesto.....	63
ANEXO VI Hoja técnica MAIN 1530.....	64
ANEXO VII Hoja MPPT.....	66

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se va realizar una introducción al tema de las energías renovables, concretamente la solar. Además se plantea al coche eléctrico como una solución a la problemática del crudo y al efecto invernadero. Pero el tema central de esta tesis es la alimentación de una batería abastecida por energía obtenida de las placas solares. Todo ello controlado por un MPPT (Maximum Power Point Tracker).

1.1. Energías renovables

Las energías renovables se plantean en este momento como una alternativa a las energías actuales. Aunque no por ello son nuevas. Éstas fueron utilizadas hasta la llegada del petróleo, cuyo costo era bajo. Pero a causa de los problemas medioambientales y al incremento del precio de los combustibles se vuelve a recurrir a ellas.

Las energías renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables, por eso, también se les denomina energías blandas o limpias. Éstas pueden dividirse en dos grupos; en energías contaminantes y no contaminantes.

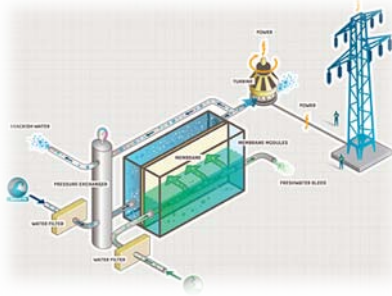
Entre las no contaminantes se denominan según la fuente natural de la que proceden:

- **Energía solar:** es una de las renovables más importantes, que se basa en la radiación solar que llega a la superficie. El consumo total de energía en nuestro planeta, basado en el uso de formas convencionales de energía como el petróleo, carbón, electricidad u otras, representa alrededor de 1% del total de la energía solar que llega a la superficie de nuestro planeta. Esto da una idea del potencial

de la energía solar. Pero en el siguiente apartado se hablará más a fondo.

- **Energía eólica:** Es la que se produce a partir de la energía cinética del viento, transformándola en electricidad. El viento mueve las aspas, que a su vez, transmiten su potencia hacia las turbinas haciendo mover los generadores (también llamados aerogeneradores) que producen energía eléctrica.
- **Energía hidráulica:** aprovecha la energía cinética y potencial de las corrientes de ríos, saltos de agua o mareas. Este tipo de energía se considera renovable cuando su aprovechamiento se realiza con una potencia no superior a 10MW. La energía hidráulica que supera esta potencia no se considera renovable debido al gran impacto ambiental de su emplazamiento para una mayor producción.
- **Energía geotérmica.** Las rocas que se encuentran en las profundidades del planeta están a temperaturas muy elevadas. La energía calórica almacenada en esas rocas se conoce como energía geotérmica. Se puede encontrar en forma de vapor (géiser), en forma de gases de alta temperatura (fumarolas) y en forma de agua caliente (fuentes termales). Esta energía puede ser de tres tipos: baja, media y alta temperatura. La primera es de uso doméstico, la energía que se recoge se emplea en calefacción y en producción de agua caliente. Las otras dos se usan para producir electricidad.
- **Energía undimotriz:** es la energía producida por el movimiento de las olas. No es muy conocida, pero se dice que es la renovable más prometedora, puesto que el ir y venir de las olas no para nunca. Además, las olas tienen la capacidad de desplazarse a grandes distancias y, por ello, la energía generada en cualquier parte del océano acaba en el borde continental.

- **Energía azul:** es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de río. Este es



un ejemplo de central de energía azul, que utiliza agua procedente de un río y agua salada del mar. Estas aguas están separadas por una

membrana artificial de material plástico. Las moléculas de sal del agua de mar hacen que el agua dulce pase a través de la membrana. Esto incrementa la presión del agua de mar que se utiliza para mover una turbina generadora de electricidad.

Dentro de las energías renovables contaminantes se encuentra la energía de biomasa. La biomasa es la cantidad de materia viva producida en un área determinada de la superficie terrestre, o por organismos de un tipo específico. Cuando hablamos de energía de biomasa nos referimos al combustible energético que se obtiene directa o indirectamente de recursos biológicos. Existen muchas fuentes de energía clasificables bajo el concepto de biomasa:

- **Biomasa natural:** Es la que se produce en la naturaleza sin ninguna intervención humana. El problema que presenta este tipo de biomasa es la necesaria gestión de la adquisición y transporte del recurso al lugar de utilización. Esto puede provocar que la explotación de esta biomasa sea económicamente inviable.
- **Biomasa residual:** Son los residuos que se generan en las actividades de agricultura y ganadería, en las forestales, en la industria maderera y agroalimentaria, entre otros y que todavía pueden ser utilizados y considerados subproductos. Como ejemplo podemos considerar el serrín, las podas de frutales...También se

incluye en este tipo de biomasa a los vertidos llamados biodegradables, es decir, las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).

- **Cultivos energéticos:** Estos cultivos se generan con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible.

Los métodos de conversión de la biomasa en energía, pueden ser métodos termoquímicos, como la combustión, o métodos biológicos, como la fermentación alcohólica y la fermentación metánica.

La gran variedad de biomosas existentes permiten plantear una gran cantidad de aplicaciones:

1. **Producción de energía térmica:** Aprovechamiento convencional de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa son aplicadas para generar calor.
2. **Producción de Biocombustibles:** Existe la posibilidad de alimentar los motores de gasolina con bioalcoholes (obtenidos a partir de la Caña de azúcar, maíz, remolacha...) y los motores diesel con bioaceites (obtenidos a partir de Girasol, Soja...)
3. **Producción de gases combustibles:** es una aplicación poco utilizada actualmente que consiste en la descomposición de la biomasa en un digestor para obtener un gas, cuyo compuesto combustible es básicamente metano. El gas obtenido es útil en aplicaciones térmicas en el propio entorno ganadero o agrícola.

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles: en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más



contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas solidas. Se incluyen dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen no se agotarán. También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles, porque teóricamente el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. Pero por ejemplo, en el caso de residuos sólidos urbanos y centrales depuradoras de agua, cuya energía también es contaminante, si no se aprovechasen, también lo serían en gran medida, pues los procesos de pudrición de la materia también emiten gas natural y dióxido de carbono.

1.2. Energía solar

Como ya hemos visto anteriormente, la energía solar es una de las más importantes dentro de las energías renovables. Podemos decir que el sol es la fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los inicios de la historia. Puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Podemos decir por tanto que es el mayor productor de energía existente en nuestro sistema planetario.

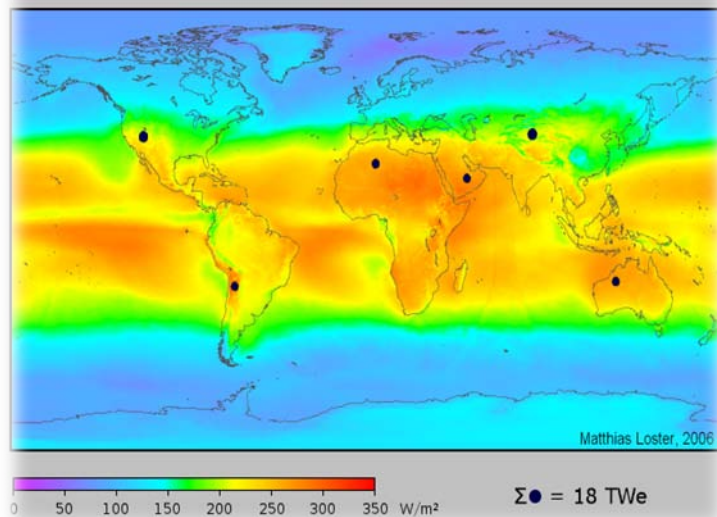
Como sabemos en cada zona del planeta es diferente la radiación (que se transmite mediante ondas electromagnéticas) o cantidad de calor incidida por el sol, esto dependerá tanto de la inclinación del planeta como del Angulo en que lleguen los rayos, unos más inclinados que otros, incluso perpendiculares en zonas como el ecuador (por ello hace más calor) o tangentes en las zonas polares (por lo que no hace tanto calor).

Por lo tanto; Factores que afectan a la radiación solar:

- Geográficos
 - Latitud
 - Exposición
 - Inclinación del suelo
- Atmosféricos
 - Atmosfera (nubosidad)
 - Partículas en suspensión (naturales y antropicas)
- Otros
 - Estación del año
 - Hora del día

Un dato curioso es que la cantidad de energía solar que llega en forma de radiación, es equivalente a unas 35 millones de veces a la energía que producen todas las centrales de generación eléctrica solamente en Chile y también que el Sol arrojará sobre la Tierra cuatro mil veces más energía que la que vamos a consumir (un dato a tener muy en cuenta). Este último dato podemos

apreciarlo en la grafica adjunta donde hay estudios que dicen que si ubicáramos plantas solares en puntos estratégicos (marcados en negro) del planeta se podría generar energía



suficiente para suplir las demandas primarias actuales de todo el mundo. En ella podemos ver también que es en los desiertos en general donde mayor

es la radiación, estando el Desierto de Atacama como uno de ellos y con un muy alto grado de radiación.

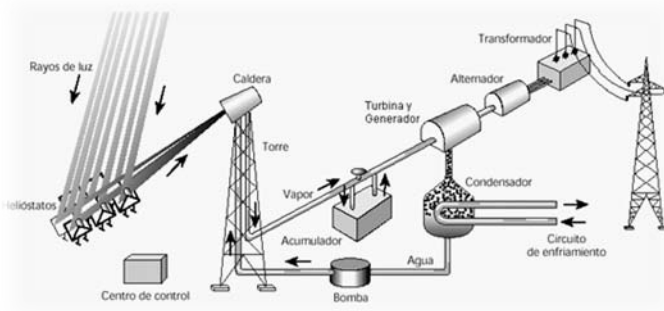
Los rayos solares que logran atravesar la atmosfera terrestre están constituidos en un 50 % de luz blanca o visible y un 45 % de radiación infrarroja, el resto son pequeñas cantidades de luz ultravioleta y otras formas de radiación electromagnética. Además la energía solar esta indirectamente relacionada con otros tipos de energía renovables, por ejemplo, la energía solar genera la evaporación del agua de los mares, la cual precipita en lagos y ríos, que serán aprovechados en la generación de hidroelectricidad. Al calentar más unas zonas que otras, el Sol produce diferencias en el "peso" de las masas de aire, generando los sistemas de viento del planeta: la energía eólica. Este es solo un ejemplo de lo importante que puede ser esta energía. Es por ello que el estudio de como poder aprovecharla cada vez sea mayor, lográndose con ello resultados cada vez mejores para los intereses humanos y por supuesto para los intereses ecológicos.

Básicamente podemos decir que utilizaremos esta energía de dos formas diferentes, es decir, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los colectores térmicos (normalmente placas absorbedoras donde la energía radiante es convertida en calor), y la electricidad a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación. Nuestra parte del proyecto está centrada en la obtención de energía eléctrica, por lo que, como veremos más adelante, utilizaremos una serie de placas fotovoltaicas.

Para la **obtención de calor** como hemos comentado se utilizan los colectores térmicos, cuyo funcionamiento consiste en que la energía solar

térmica aproveche directamente la energía emitida por el sol. Su calor es recogido en colectores líquidos o de gas que son expuestos a la radiación solar absorbiendo su calor y transmitiéndolo al fluido utilizado.

Podemos hacer dos diferenciaciones, térmica “activa” y térmica “pasiva”. La activa obtiene electricidad a partir de una serie de tecnologías

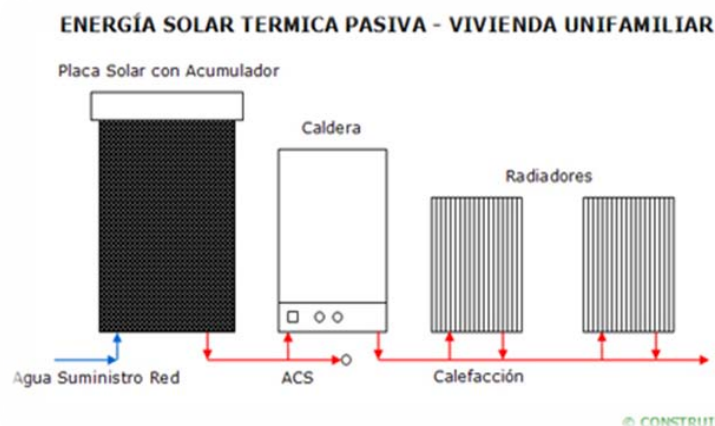


que permiten la transformación del calor obtenido por la radiación solar. La radiación solar directa se concentra por diversos métodos en las

centrales solares obteniéndose calor a media o alta temperatura y en la que se concentrara. En este sistema no se producen emisiones contaminantes pero la inversión que hay que hacer en este tipo de instalaciones es alta. El funcionamiento consiste en concentrar la luz solar mediante espejos (helióstatos), cilindros o discos parabólicos para alcanzar altas temperaturas (más de 400 ° C), que se utilizan para generar vapor y activar una turbina que produce electricidad por medio de un alternador.

La energía solar térmica pasiva es la que nos permite producir energía sin necesidad de utilizar ningún medio mecánico. El proceso

térmico pasivo es un proceso totalmente natural en el que el sol se emplea para el calentamiento del agua circulante por conductos o placas.



El coste de la instalación de este tipo de energía no resulta elevado (puede

suponer un 10% de sobre coste en la instalación) y se amortiza en poco tiempo debido al gran ahorro energético que supone (hasta un 70% durante su vida útil). Es la energía renovable con menor impacto en el medioambiente. El agua caliente se puede utilizar inmediatamente o almacenarla para su posterior uso.

El calor recogido en dichos colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades como por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, climatización de piscinas (y así permitir el baño durante gran parte del año), colegios, fábricas, etc. También en el mundo agrícola es utilizado este sistema, con unos invernaderos solares en los que se obtienen mayores y más tempranas cosechas.

Para la **obtención de electricidad** utilizaremos las «células solares», que las distribuiremos en paneles solares. No contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes. Este sistema producía ya electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo.

1.3. Vehículo eléctrico

El sector del transporte depende en un 95% de los combustibles líquidos derivados del petróleo. En sus orígenes, los coches utilizaron el petróleo porque constituía una materia prima barata y abundante, sin

embargo, su actual escasez, y las emisiones contaminantes hacen que se piense en otra alternativa.

Desafortunadamente, la respuesta que se ha propuesto frente a la degradación del planeta ha sido sustituir el crudo por los combustibles fósiles no convencionales, que no son menos contaminantes.

El vehículo eléctrico se presenta como una prometedora solución. Los sistemas de tracción eléctrica son hasta cuatro veces más eficientes que los convencionales, por lo tanto, consumen menos energía primaria por kilómetro recorrido. Además contribuyen a reducir los niveles de ruido del ambiente, ya que, los motores eléctricos son muy silenciosos.

Pero esta alternativa no es una novedad. Los coches eléctricos son tan antiguos como los coches convencionales. Entre 1832 y 1830 se inventó el primer vehículo eléctrico puro, y en 1897 comenzaron a implantarse taxis eléctricos en Nueva York. Pero fue en 1930 cuando la industria del automóvil eléctrico desapareció por completo, con la introducción del arranque eléctrico en los motores de combustión interna.

Los vehículos eléctricos se clasifican según las fuentes de energía eléctrica:

- Energía almacenada a bordo con sistemas recargables, que cuando estacionan almacenan energía que luego consumen durante su desplazamiento. Las principales formas de almacenamiento son:
 - Energía química almacenada en baterías (vehículo eléctrico de batería)
 - Energía eléctrica almacenada en supercondensadores.
 - Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento. El volante de inercia absorbe la energía de frenado de un vehículo de modo que se reutilice posteriormente en su aceleración.

- Alimentación externa del vehículo durante todo su recorrido, con un aporte constante de energía, como es común en el tren eléctrico y el trolebús.
- Fuentes que permiten la generación eléctrica a bordo del vehículo durante el desplazamiento, como son:
 - La energía solar generada con placas fotovoltaicas
 - Generados a bordo usando una celda de combustible
 - Generados a bordo usando energía nuclear como el submarino
- También es posible disponer de vehículos eléctricos híbridos, que son una combinación entre motor convencional y eléctrico. Hoy por hoy comienzan a ser comunes en la ciudad.

Los motores eléctricos destacan por su alta eficiencia (superior al 90% frente al 40% el motor de combustión interna) a diferentes regímenes de funcionamiento. El futuro de los vehículos puramente eléctricos parece pasar por las nuevas generaciones de acumuladores químicos (batería de ion de litio) cada vez con mayor densidad de carga y longevidad, que permiten mover motores más potentes y aumentar la autonomía.

El gasto energético del motor de un vehículo eléctrico oscila entre los 10 y los 20 kWh en un recorrido de 100 km, por tanto el coste de utilización es muy bajo, ya que el precio del kWh es muy económico.

Por otro lado, es falso que un vehículo eléctrico no contamine. A un vehículo eléctrico de baterías se le podrán imputar las emisiones producidas para generar, transportar y transformar la energía eléctrica con que cargamos sus baterías. Pero sin embargo estas emisiones son muy inferiores a las producidas por un motor convencional.

Pero el gran problema de los vehículos eléctricos es la dependencia de la fuente energética y el almacenamiento de la energía eléctrica que es



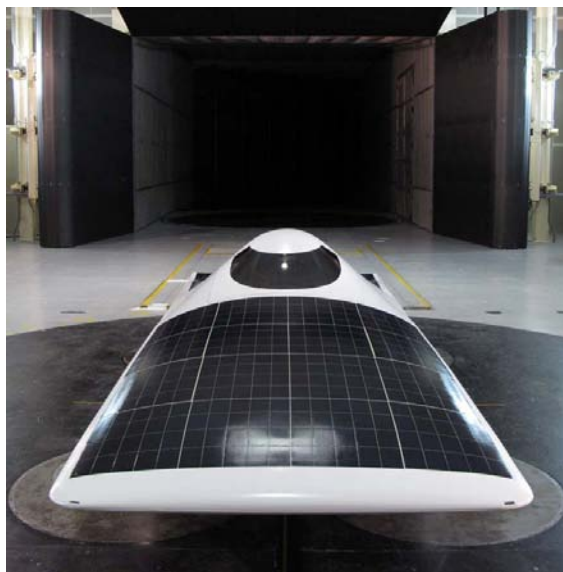
altamente ineficiente y costoso.

Otro inconveniente es la duración de la carga (de 3 a 6 horas), mientras que el vehículo convencional se abastece en cuestión de minutos. Pero en este momento se está

investigando tecnologías de almacenamiento como los ultracapacitores con tiempos de carga muy cortos (alrededor de 5 minutos) aunque todavía con poca autonomía. En esta tesis se va a probar la eficacia de esta técnica que está comenzando a desarrollarse.

Las celdas fotovoltaicas son otra alternativa para generar electricidad en el vehículo aunque poco eficiente (15-20%) y costoso. Además de esto, el vehículo no podría circular de noche lo cual es un gran inconveniente. Sin embargo, si el uso del vehículo es pequeño, durante los periodos en que el vehículo está estacionado, se podrían cargar las baterías para utilizar la energía posteriormente. Así que el sistema fotovoltaico es mejor como elemento de apoyo a la tracción del vehículo.

Cada dos años se celebra en Australia una carrera de coches eléctricos solares y este octubre se presenta el auto Eleanor, que en un día soleado puede circular sin detenerse a 144 km/h, con un sistema de baterías que le dotan de una autonomía de 350 kilómetros sin necesidad de luz solar.



“ELEANOR”

2. CELDAS SOLARES

2.1. Historia de la celda fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas tuvieron su nacimiento gracias a un físico francés llamado Edmundo Becquerel, por el año 1839, fue éste quien notó que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando los mismos eran expuestos hacia la luz y es así como el principio del aprovechamiento de la energía solar surgiría.

Luego, Albert Einstein, en el año 1904 describió lo que era el efecto fotoeléctrico, en el cual se basa hoy la tecnología fotovoltaica, por dicho trabajo consiguió el premio Nobel de física. Con toda esta información, conocimientos y avances, los Laboratorios Bell crearon el primer módulo fotovoltaico en 1954 apareciendo allí las primeras celdas fotovoltaicas.

Como su fabricación era bastante costosa y en aquella época el precio resultaba algo injustificado, la producción de celdas fotovoltaicas

decaió hasta 1960. Fue en este año en donde la industria espacial comenzó a hacer uso de esta tecnología para conseguir energía eléctrica y distribuirlas luego a bordo de sus naves. Por ello podemos decir que fue a través de los programas espaciales que los científicos y técnicos pusieron énfasis en la energía solar y sus beneficios. Cuando su uso alcanzó un alto grado de confiabilidad, se pudo lograr una reducción en los costos. Esta confiabilidad o rendimiento va aumentando año a año mediante estudios que se van realizando, mejorando así sus prestaciones.

2.2. Funcionamiento y tipos de celdas.

Existen una gran cantidad de materiales (propensos a sacar un electrón de la banda de valencia al incidirles la luz solar) para la construcción de celdas. Su elección dependerá de la sensibilidad al captar la gama de colores contenidos en la luz solar. Aunque hoy en día, la mayor parte de celdas solares utilizadas a nivel comercial son de silicio (símbolo químico: Si), debido generalmente a la relación precio-eficiencia (baja-alta). El silicio es lo que se conoce como un semiconductor. Es el componente principal de la sílice (combinación de silicio y oxígeno que abunda en la naturaleza, formando el cuarzo, el cristal de roca, etc.) de las arenas de las playas. Después de haber depurado el silicio, se fabrican bloques de silicio mono cristalino (depende de las técnicas de fabricación), de los cuales se obtienen obleas que posteriormente son dopadas con boro y luego con fósforo. Provistas de contactos eléctricos adecuados se conectan con otras celdas, dando lugar a los grandes paneles o módulos solares de uso comercial e industrial.

Las celdas solares de silicio pueden ser de tipo monocristalinas, policristalinas o amorfas. La diferencia entre ellas radica en la forma como los átomos de silicio están dispuestos, es decir, en la estructura cristalina.

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior y, luego, dos capas de silicio. En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de anti reflexión, que da a la celda solar su típico color azul.

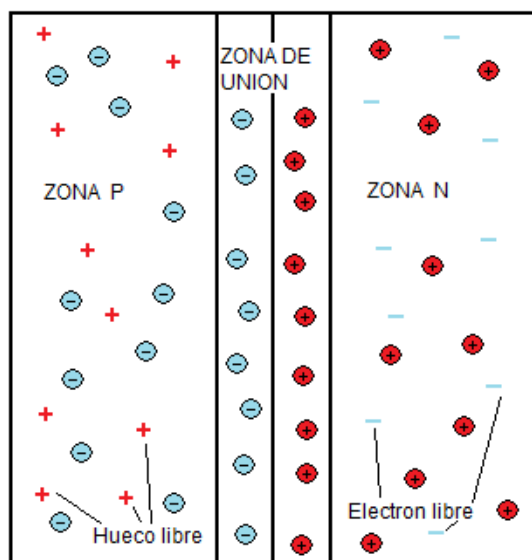
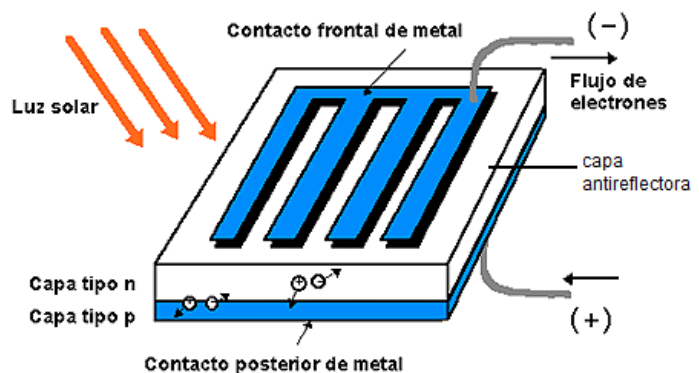
Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururo de cadmio). Éstas están comenzando a ser comercializadas.

Una característica común de todas las celdas solares convencionales con base en semiconductores es la materia prima relativamente cara debido a los procesos metalúrgicos necesarios para su producción. Una alternativa, como acabamos de comentar, es la fabricación de celdas de películas delgadas, con lo que se reducen los requerimientos de materia prima. Se desarrollaron hace varios años en un laboratorio en Lausanne, Suiza, con las llamadas celdas solares electroquímicas de inyección o celdas de Grätzel. Estas celdas tienen el potencial de ser producidas mucho más económicamente que las celdas existentes en el mercado gracias al bajo costo de la materia prima y sus bajos requerimientos de manufactura. La diferencia más importante de las celdas de Grätzel al compararlas con las celdas convencionales es la división de los pasos de la absorción de la luz solar, realizado aquí por un colorante, y de la separación de los pares electrón-hueco que normalmente son realizados ambos por el mismo

semiconductor. Esta división de tareas permite la optimización de ambos pasos por separado y, por lo menos en teoría, una mayor eficiencia de la celda.

Existen otro tipo de celdas un poco más complicadas como por ejemplo las llamadas celdas tándem, que se fabrican combinando dos semiconductores con banda prohibida diferente logrando así superar el límite del 28% de eficiencia, de hecho se ha demostrado hasta un 33.7% con celdas tándem de GaAs/GaSb (Arseniuro de Galio/Antimoniuro de Galio).

Cuando una celda es expuesta a la luz (se expone el lado negativo), si los fotones que llegan a la superficie tienen una energía mayor que la necesaria para liberar a un electrón desde la red de la cual forman parte, surge una corriente de foto electrones. Debe ocurrir que la energía de



los fotones sea mayor que la energía de ligazón de los electrones al material, que exista una juntura semi conductora que impida la recombinación de portadores positivos y negativos y que la vida media de los portadores permita sostener un flujo de corriente a través de una carga útil.

Como vemos en la figura se pueden diferenciar, diferentes capas en la celda, una “tipo n”, la cual

posee cargas negativas (e^-) y la otra “tipo p”, que posee cargas positivas (podemos verlo mejor en la figura de la anterior página). Entre ellas existe una zona de unión, donde se intercambiarán los huecos y electrones. Como ya hemos dicho antes, los fotones emitidos por la radiación solar entregan a los electrones la suficiente energía como para dejar la banda de valencia y entrar así en la conducción, quedando dichos electrones liberados y generándose por tanto un hueco. De esta manera aumentan los electrones libres en la otra zona (“n”), provocando una diferencia de potencial entre los dos lados (n y p). Y esta diferencia de potencial es la que nosotros aprovechamos.

Resumidamente podemos describir su funcionamiento diciendo que algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Dependiendo de las técnicas y calidad de fabricación (cosa que se refleja en el precio), una celda solar con un área de unos 12x12 centímetros, puede entregar unos 0.5 voltios y hasta 1 amperios de corriente eléctrica (una ampolla de 100 watts, funciona con 220 voltios y casi 0.5 amperios de corriente). Los paneles normalmente son recubiertos con vidrios especiales que pueden resistir el impacto del granizo, y son enmarcados en una estructura de aluminio, lo cual proporciona un soporte mecánico que facilite su manejo e instalación, cosa que hemos hecho en nuestro montaje y que veremos más adelante.

Para asegurar un buen funcionamiento, se debe mantener limpia la superficie del panel, para que el máximo de luz solar sea aprovechado en el proceso. El rendimiento de celdas solares de más reciente desarrollo, como

ya hemos comentado, supera el 30%, comparado con el 15% de muchos generadores eléctricos. Es la relación coste/beneficio lo que mantiene el uso de paneles solares como una solución que es considerada sólo cuando resulta más barata que el uso de otras formas de energía. Sin embargo, aquellos lugares en los cuales no hay acceso al uso de otras energías, el uso de energía solar es una excelente alternativa.

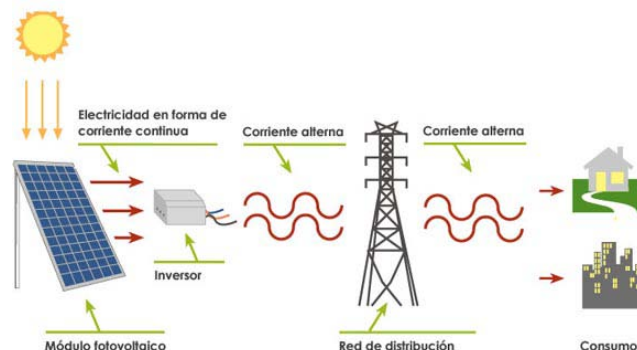
2.3. Aplicaciones de las placas solares

Las aplicaciones de esta energía podemos dividirlas en dos:

- Sistemas conectados a la red eléctrica (venta de la energía generada)
- Sistemas aislados o autónomos (autoabastecimiento de electricidad)

Los sistemas autónomos poseen gran importancia en los lugares en los que es muy caro o no existe electrificación, proporcionando la energía necesaria para la electrificación de viviendas, sistemas de telecomunicaciones, extracción de agua de pozos, riegos, señalización, estaciones meteorológicas, alumbrado autónomo, explotaciones ganaderas...

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica permiten la venta a la compañía eléctrica de toda la energía generada por el sistema a un precio varias veces superior al de venta y que viene regulado por ley. Mediante este sistema se constituyen las centrales y huertas solares que conocemos actualmente y otras instalaciones de menor tamaño asequibles al bolsillo de cualquier ciudadano.



Una aplicación conocida por todos es en las calculadoras, teniendo unas pequeñas celdas que todos hemos visto, de tal manera que no necesitan pilas para su funcionamiento, funcionan únicamente con energía solar. Por supuesto otra aplicación que le daremos, siendo este nuestro objetivo en el actual proyecto, será la construcción de paneles fotovoltaicos para la carga de baterías en automóviles.

Si se consigue que el precio de las células solares siga disminuyendo, iniciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que, para la tercera década del siglo, una buena parte de la electricidad consumida en los países ricos en sol tenga su origen en la conversión fotovoltaica.

La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación. Así, una casa bien aislada puede disponer de agua caliente y calefacción solares, con el apoyo de un sistema convencional a gas o eléctrico que únicamente funcionaría en los periodos sin sol. El coste de la «factura de la luz» sería sólo una fracción del que alcanzaría sin la existencia de la instalación solar.

3. SISTEMA FOTOVOLTAICO.

El sistema fotovoltaico consiste en dos celdas solares en serie. Cada panel tiene un voltaje de salida de 25V entregando una corriente de 4.5A, lo cual implica una potencia de aproximadamente 113 watts. En cada panel las celdas están ubicadas en 5 columnas de 10 placas cada una y todas en serie. Por tanto, las dimensiones del panel son de 0.83 [m] x 1.10 [m]. Una estructura de aluminio alberga a estos dos paneles.

Los paneles solares van conectados a un controlador solar llamado MPPT que consigue la máxima potencia del panel en diversas situaciones.

Por último, del MPPT se conecta a una batería convencional de 12V de Plomo y ácido sulfúrico.

3.1. Circuito equivalente

Como ya se ha mencionado, las celdas solares al ser expuestas a la radiación generan un foto-voltaje. Cuando se conecta una carga entre ellos, la diferencia de potencial generada provoca un flujo de electrones (e^-). Siguiendo las leyes de Kirchoff junto con la ecuación exponencial de un diodo, podemos deducir las siguientes ecuaciones que modelan esta celda fotovoltaica.

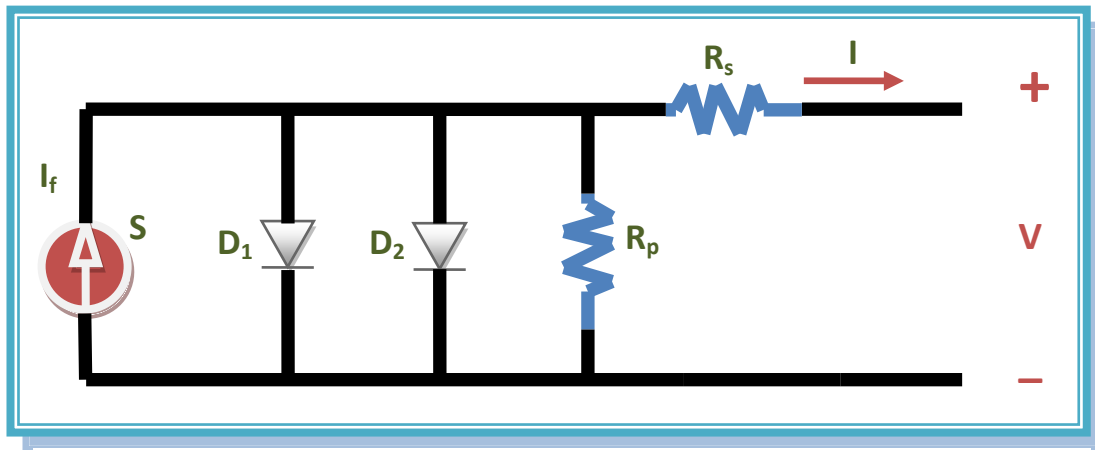
$$I_d = I_s \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{III-1})$$

$$I = I_f - I_s \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (\text{III-2})$$

En estas ecuaciones, V e I, son el voltaje y corriente de salida de la celda. I_f es la foto-corriente generada, I_s es la corriente de saturación del diodo y “n” su factor de idealidad.

Además se puede observar que el modelo depende también de la temperatura T [$^{\circ}\text{K}$] de la celda, la carga del electrón ($q = 1.602 \cdot 10^{-19}$ [C]) y la constante de Boltzmann $k = 1.380 \cdot 10^{-23}$ [J/K].

El modelo equivalente empleado en las placas es el **Modelo de dos diodos**.



“Modelo de dos diodos en una célula fotovoltaica”

Este modelo consiste en dos diodos en paralelo representando las corrientes inversas generadas en las uniones p-n, y dos resistencias internas que simulan las pérdidas provocadas al interior de cada celda.

A partir de este último modelo y usando de nuevo las leyes de Kirchhoff, es posible deducir una ecuación más completa para representar el comportamiento de una celda.

$$I = I_f - I_{S1} \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n_1 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - I_{S2} \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n_2 \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (\text{III-3})$$

Donde:

I_{S1}, I_{S2}	Corriente de Saturación de los Diodos
n_1, n_2	Factor ideal de cada diodo
R_s, R_p	Resistencia Serie y Paralelo respectivamente

La corriente I_f es la componente de pico de foto-corriente que la celda es capaz de generar con una irradiación solar máxima (1000 W/m^2 y una temperatura de 25°). Esta corriente varía según el nivel de irradiación, por lo que esta variable se define como:

$$I_f = S \cdot I_{cc} \quad (\text{III-4})$$

I_{cc} = Corriente de Corto Circuito

S= Porcentaje de Irradiación Solar

Por tanto, la ecuación III-3 depende de la corriente de salida y la temperatura de la celda, pero como se verá a continuación esta relación es aún más estrecha. La corriente I_{cc} así como $I_{s1,2}$ también dependen de la temperatura según:

$$I_{cc}(T) = I_{cc} \cdot (1 + (T - 298) \times (5 \cdot 10^{-4})) \quad (\text{III-5})$$

$$I_{s1} = K_1 \cdot T^3 e^{-\frac{E_g}{k \cdot T}} \quad (\text{III-6})$$

$$I_{s2} = K_2 \cdot T^{\frac{5}{2}} e^{-\frac{E_g}{k \cdot T}} \quad (\text{III-7})$$

E_g = Energía Band-Gap del semiconductor para el Si es 1.14 [eV]

$$1 \text{ [eV]} = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ [J]} \quad (\text{III-8})$$

$$K_1 = 1,2 \text{ [}^\circ\text{A/cm}^2\text{K}^3\text{]} \quad (\text{III-9})$$

$$K_2 = 2,9 \cdot 10^5 \text{ [}^\circ\text{A/cm}^2\text{K}^{5/2}\text{]} \quad (\text{III-10})$$

Con los parámetros de las celdas que se mencionan en las características de los materiales podemos calcular las resistencias R_s (0.0246 [Ω]) y R_p (0.123 [Ω])¹

¹ Resultados obtenidos en el Anexo II

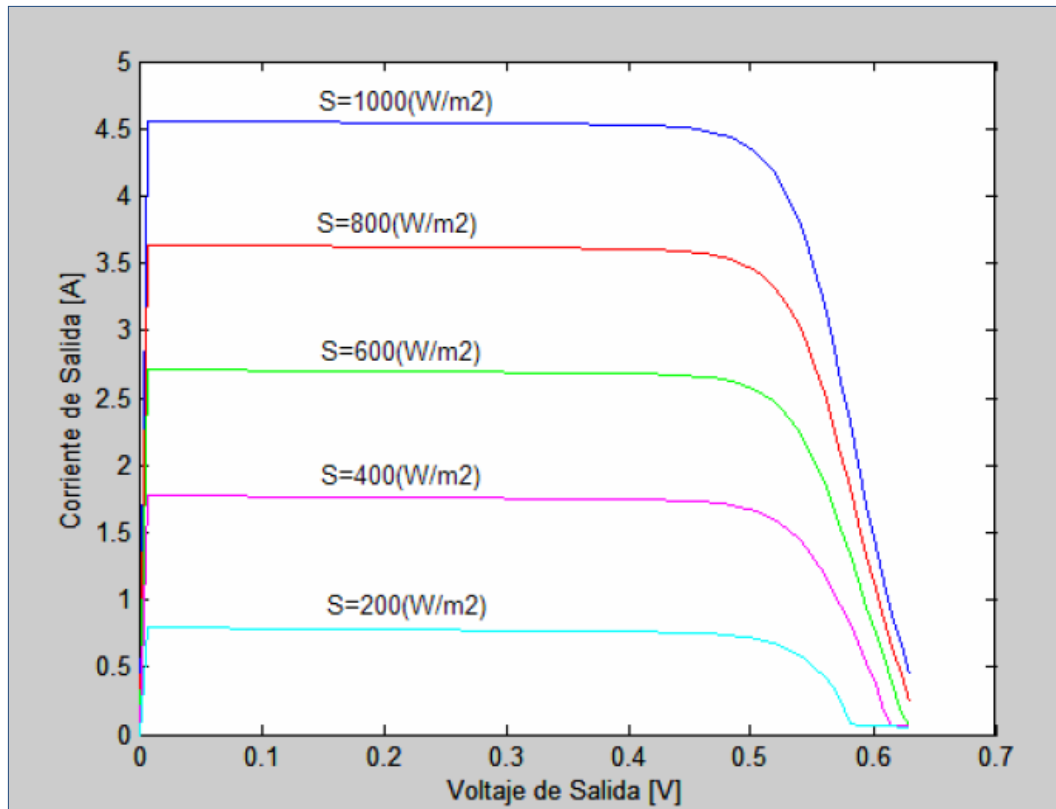
3.2. Diodos

Cuando una celda solar entra en sombra puede provocar un voltaje inverso en ella. Esta célula consumiría por tanto potencia generada por las demás en serie con ella produciéndose un calentamiento indeseado de la célula sombreada.

Este efecto, llamado punto caliente, será tanto mayor cuanto mayor sea la radiación incidente sobre el resto de células y menor la que reciba esta celda debido a la sombra. En un caso extremo la célula podría llegar a romperse por sobrecalentamiento. El uso de diodos by-pass reduce el riesgo de calentamiento de las celdas sombreadas, limitando la corriente que pueda circular por ellas y evitando de este modo la rotura de las mismas.

3.3. MPPT

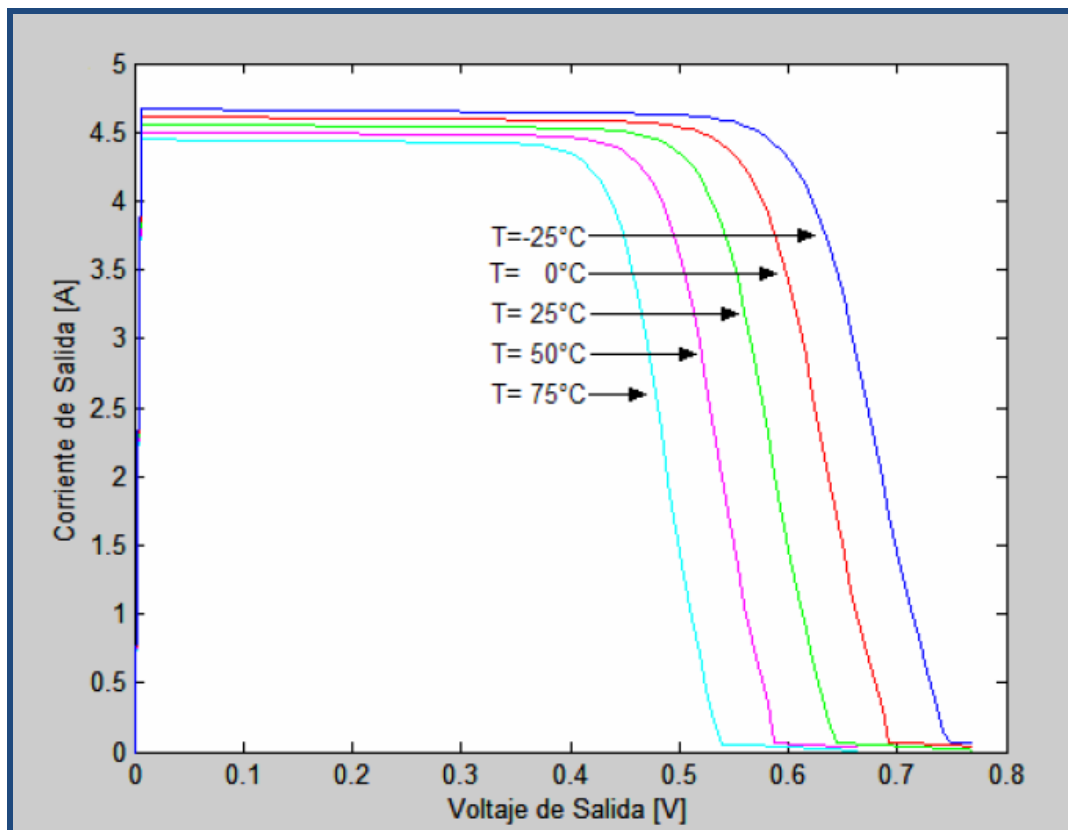
La potencia de salida de un panel solar varía considerablemente en función de la irradiación solar que se esté recibiendo, la temperatura ambiente y la temperatura de la célula solar.



“Característica I-V de la celda 1530 para valores distintos de irradiación solar y una temperatura de 25° C”

Es evidente la influencia que ejerce la radiación solar sobre la eficiencia de la celda, e incluso la relación es lineal, pues una reducción de un 20% en la irradiación produce una reducción de un 20% de la corriente de salida. También se puede observar que al aumentar el voltaje de la celda sobre su valor nominal máximo produce un fuerte descenso de la corriente.

Como ya hemos dicho, además de la irradiación solar, la temperatura de la celda también ejerce una influencia importante. En esta gráfica se muestra el comportamiento de la celda para distintas temperaturas y una irradiación de 1000[W/m²].



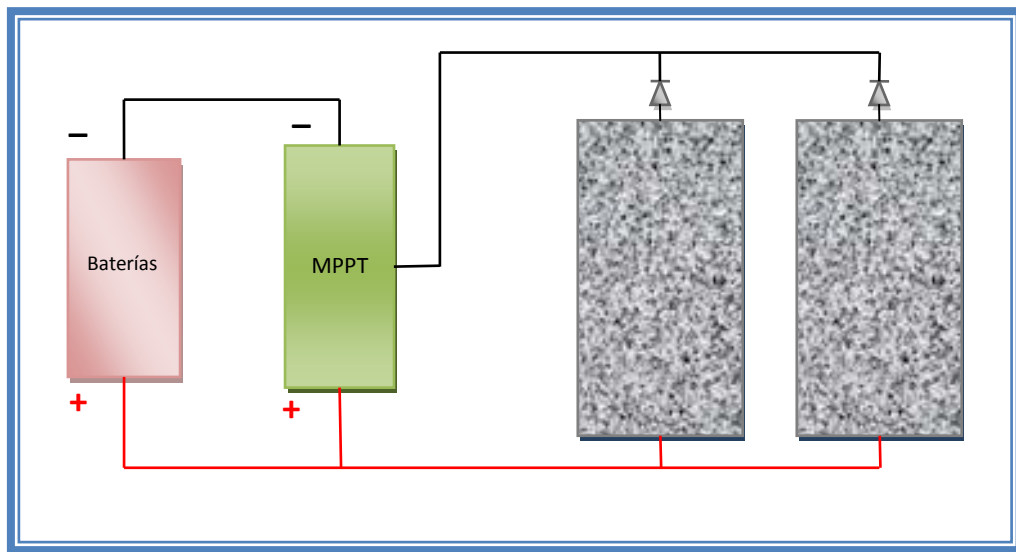
“Característica I-V de la celda MAIN1530 para valores distintos de Temperatura y una irradiancia de 1000[W/m²]”

De esta figura se puede apreciar la importancia que tiene la temperatura en la cantidad de energía generada por la celda fotovoltaica, y que mientras mejor refrigerada se mantenga, la potencia obtenida será mayor.

Esta potencia también está relacionada con el voltaje de salida del panel. Sin importar la irradiancia ni la temperatura, el obligar al panel a funcionar con un voltaje no óptimo supondrá una pérdida importante de eficiencia, razón por la cual hay que tener cuidado con la carga que alimenta el sistema. Por tanto, para conseguir la máxima potencia que los paneles pueden ofrecernos se coloca un controlador solar llamado MPPT.

Un MPPT es un convertidor DC-DC que optimiza la relación entre los paneles solares y la batería. Su funcionamiento consiste en tomar la señal DC de los paneles solares, después crea un algoritmo que convierte

esta señal a corriente alterna a alta frecuencia y de nuevo a otro voltaje y corriente DC que coincide con la carga, en nuestro caso una batería.



“Esquema de la instalación del MPPT”

El MPPT se coloca a la salida de los paneles y a la entrada de la batería. Su eficacia es alrededor a 92-97%. Nuestro MPPT elegido de la compañía MORGNINGSTAR es el SUNSAVER 15L (15A, 12/24) y su rendimiento máximo es del 97.5%. En las siguientes condiciones su eficacia es más notable:

- En invierno y días nublados es cuando más se necesita la potencia extra. Con temperaturas frías los paneles solares funcionan mejor, pero el frío es más probable en invierno, cuando las horas de sol son menos y más se necesita la máxima potencia.
- Cuando la batería está muy descargada el MPPT puede extraer más corriente y cargar la batería si el estado de carga es bajo.

Además este aparato, evita que en periodos de escasa luz, como la noche, las baterías intenten enviar corriente en sentido contrario y polarizar en forma inversa las celdas, destruyéndolas al instante. Así mismo, cuando las baterías están cargadas completamente, el MPPT deja de cargar y deja

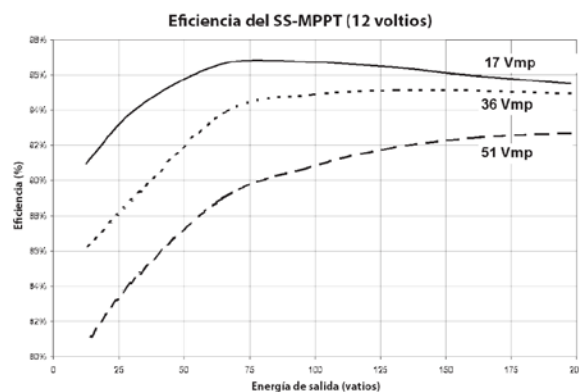
el panel solar en circuito abierto para evitar sobrecargas y daños en el sistema fotovoltaico.

El MPPT puede funcionar como:

Boost converter: significa que la tensión de entrada es menor que el voltaje de la batería en el sistema

Buck converter: significa que la tensión de entrada es mayor que el voltaje de la batería en el sistema.

En nuestro proyecto el Mppt funcionará como buck converter, ya que, nuestros paneles ofrecen cada uno 25V, y al estar en serie, entregan un voltaje nominal de alrededor 50V, y nuestra batería es de 12V.



4. Conclusiones y trabajo futuro.

4.1. Conclusiones.

Como objetivo en este proyecto, era la construcción de un sistema capaz de cargar la batería del vehículo de forma totalmente limpia y no contaminante. Para ello, se escogió como mejor opción el sistema fotovoltaico, puesto que, las dimensiones necesarias en la estructura del montaje se podían amoldar en nuestro vehículo, que como ya se ha comentado es un Suzuki Maruti.

Una vez terminado todo el proceso, y hechas las pruebas pertinentes comprobando su buen funcionamiento, se podrá observar como el rendimiento es un poco menor del esperado. Esto se podrá explicar por varios motivos aunque el principal será el montaje realizado. En las características técnicas, una placa solar de las que se han utilizado dice que proporciona 2,26w, pero en condiciones óptimas, cosa que es muy complicado conseguirlo constantemente,. Esta bajada de rendimiento vendría entonces por los materiales conductores utilizados (que siempre tienen una pequeña pérdida), por la colocación del policarbonato (la pérdida es pequeña pero existente), por el deterioro de alguna de las placas (puesto que se utilizaron unas que ya estaban más o menos montadas), por la exposición a altas temperaturas con el cautín utilizado al soldar los conductores a las placas (era de mala calidad, lo cual no permitía que las cintas se adhirieran fácilmente a las celdas) y, por último, principalmente por la ventilación, es muy difícil realizar un sistema que sea efectivo al 100% para evacuar el calor generado. Otro aspecto que influirá notablemente será el nivel de irradiación que haya en cada momento.

Dicho esto la meta que se buscaba estará bien concluida, porque mediante la energía solar (energía limpia y no contaminante) se tendrá una carga continua de la batería (con la ayuda del MPPT). Proporcionará la potencia necesaria para que luces, intermitentes, etc. funcionen correctamente. Con ello se habrá resuelto un tema que en un futuro puede ser importante, puesto que hoy en día es necesario empezar a utilizar este tipo de energías en todos los procesos posibles.

4.2.Trabajo futuro.

Como en casi todos los proyectos, existen mejoras que se puedan realizar para mejorar aún más los resultados. Actualmente nos encontramos en el comienzo de la utilización de este tipo de sistemas en los vehículos y en un futuro podrá verse cómo los estudios en este campo van avanzando y, por tanto, mejorando sus aplicaciones.

Alguno de los aspectos a mejorar en nuestro proyecto sería el tema del rendimiento, mejorando la ventilación o los materiales utilizados. También el peso se intentará reducir en la manera en que sea posible, y la estructura reducirla o amoldarla al vehículo lo máximo posible, para que la aerodinámica sea mejor (por lo tanto se dará menos trabajo al motor, aparte de que la estética también mejoraría).

Finalmente, decir que el proyecto total es la consecución de un vehículo totalmente eléctrico. Con la tecnología de hoy en día se puede utilizar un tipo de ultracapacitores con los que la carga se realizará en unos 3 minutos, pero el vehículo tendrá poca autonomía. Por lo tanto, será un trabajo futuro el conseguir un tipo de ultracapacitores que mejorarán en este aspecto, y cuando esto se haga realidad, volver a realizar un estudio de cómo poder utilizarlos en nuestro vehículo.

5. Bibliografía

- ALBERTO ZUÑIGA, “*Análisis y evaluación del aumento en la autonomía de un vehículo eléctrico utilizando celdas fotovoltaicas y MPPT de alta tecnología*”, Memoria para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2005.
- PHILLIP J.HURLEY, “*Build your own solar panel*”

Páginas de internet:

- http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPP_T.pdf
- <http://www.instalacionenergiasolar.com/>
- <http://www.censolar.es/menu2.htm>
- <http://www.explora.cl/otros/energia/e-solar.html>
- http://www.explora.cl/exec/cyt/preg_cientif/ficha.e3?id=68
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar
- <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=18&m=21&idm=161&pat=20&n2=20>
- <http://www.instalacionenergiasolar.com/energia/celdas-fotovoltaicas.html>
- <http://www.cec.uchile.cl/~arnudman/files/queson.html>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable

- [http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPP T.pdf](http://www.blueskyenergyinc.com/uploads/pdf/BSE_What_is_MPP_T.pdf)
- www.microsiervos.com/archivo/curiosidades/coches-electricos.html
- <http://www.ison21.es/category/desarrollo-sostenible/movilidad-sostenible/coches-electricos/>
- <http://weblogs.madrimasd.org/energiasalternativas/archive/2009/04/21/116803.aspx>
- http://www.soitu.es/soitu/2009/03/01/info/1235901954_995702.html
- <http://www.solener.com/intro.html>
- <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?c=17&m=21&idm=156&pat=20&n2=20>
- <http://www.bizkaisolar.webcindario.com/paneles%20fotovoltaicos.html>

A N E X O S

ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

El aluminio es el material que se ha utilizado para realizar la estructura que sostiene las placas. Se ha elegido el material por sus características mecánicas y su dureza, además de su fácil manejo. El aluminio es el tercer elemento químico más común encontrado en la corteza terrestre. Es un metal no ferroso, que tiene una combinación de propiedades que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica. Posee una baja densidad y una alta resistencia a la corrosión. Además, es un buen conductor de la electricidad.

El marco que contiene cada placa también es de aluminio, preferido, principalmente, por su resistencia a la corrosión, ya que, soporta lluvias y ambientes corrosivos, sin perder sus características.

Las celdas solares utilizadas son de silicio, que son más económicas que las de GaAs para una misma eficiencia. Son de la compañía RWE SCHOTT, concretamente su nombre es MAIN 1530. Fueron elegidas por Alberto Zúñiga en su tesis. Son celdas de alta eficiencia y estabilidad, además de una larga duración eléctrica. Sus características técnicas son estas:

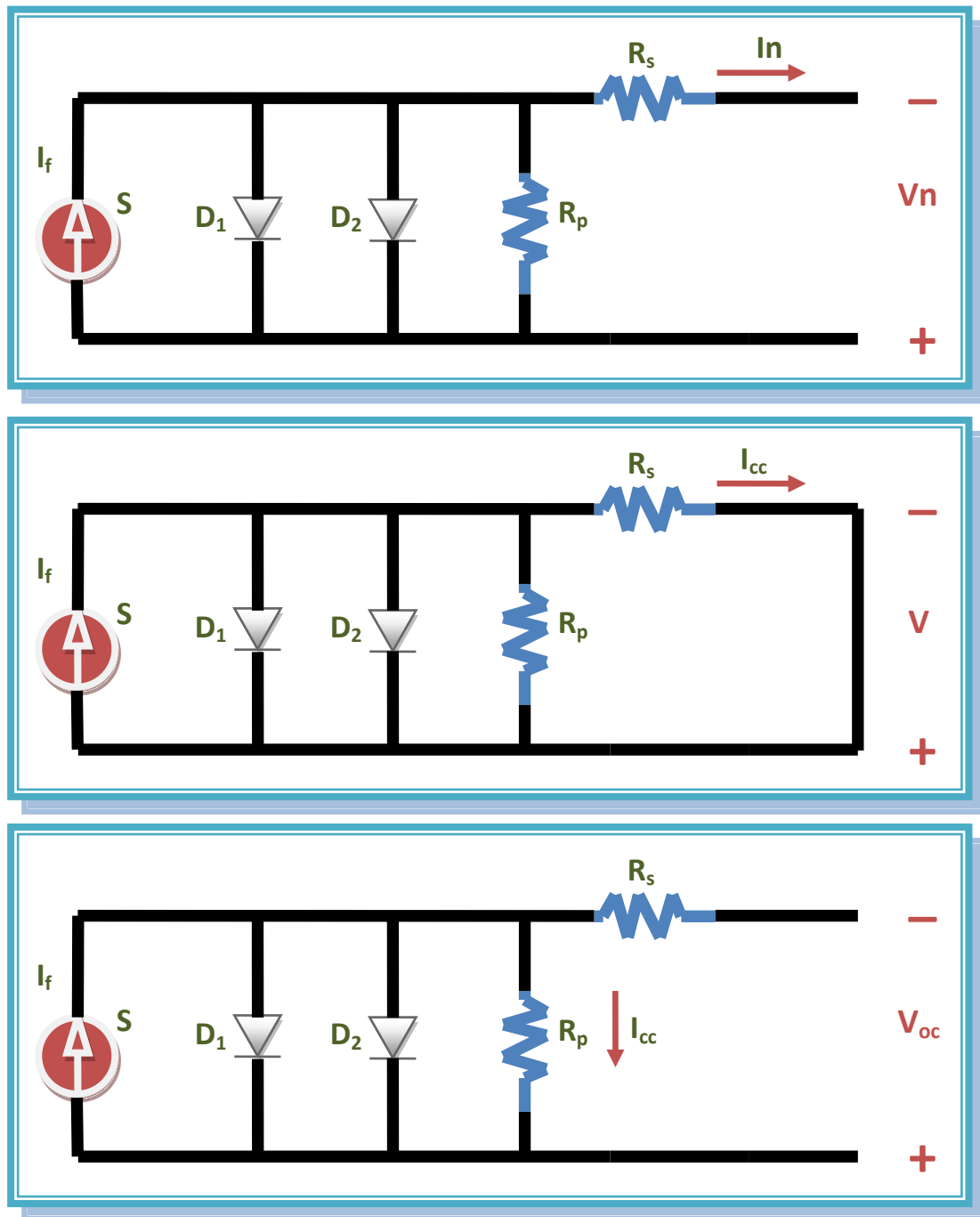
Celda	Main 1530
Dimensiones (mm)	100 x 150
Voltaje Circuito Abierto[mv]	613
Voltaje Promedio [mV]	500
Corriente a Voltaje Promedio [A]	4,50 – 4,65
Corriente Corto Circuito [A]	4,97
Potencia Promedio [W]	2,26
Eficiencia Promedio [%]	15,1

La madera donde se encuentran apoyadas las celdas solares es madera de balsa. Esta madera ha sido elegida por ser la más ligera que se conoce, para conseguir dar el mínimo peso a la estructura y al vehículo, y así, evitar pérdidas de energía. Tiene una densidad de 0.10 a 0.15, lo que la hace más liviana que el corcho. Esta madera tiene un sinnúmero de cualidades, tales como su gran capacidad de aislamiento acústico y térmico (factor muy importante en nuestra tesis ya que así conseguimos aislar las celdas), bajo peso, facilidad para encolarse... Además, se ha optado también por este material para ponerlo entre las separaciones de las celdas, y así, lograr una elevación prudente del policarbonato para no presionar las celdas.

En los dos paneles hemos instalado policarbonato de un grosor de 3mm que posee una transparencia casi total. Para conseguir la mayor irradiación que llega a las celdas, este material debe ser liso, para evitar reflexiones de los rayos solares, y con una transparencia casi total. Este material es el indicado, ya que, además, soporta altas temperaturas evitando que se dilate o deforme con el calor.

En cuanto a los conductores, se ha optado por un cable paralelo de 1 mm² de sección cada uno, que soporta perfectamente las corrientes de la instalación.

ANEXO II: CÁLCULO DE R_s Y R_p



$$V_{oc} - V_{nominal} = \Delta V = 0,613 - 0,5 = I_{nominal} \cdot R_s = 4,575 \cdot R_s \rightarrow R_s = 0,0247[\Omega]$$

$$R_p \cdot I_{cc} = V_{oc} = 0,613 = R_p \cdot 4,97 \rightarrow R_p = 0,123[\Omega]$$

Es conveniente recordar que los valores de I_{cc} , $V_{Nominal}$, $I_{Nominal}$ y V_{OC} dependen directamente de la temperatura e irradiación solar a la cual se exponga la celda fotovoltaica. Por lo tanto los valores de R_s y R_p también dependerán de estas variables. A medida que la temperatura aumenta, la resistencia equivalente entre R_s y R_p aumenta considerablemente hasta llegar a un punto en el cual “ $R_{eq}=\infty$ ”, por lo tanto la celda se transforma en circuito abierto, no dejando que la corriente circule. Supondremos por tanto que R_s y R_p son valores fijos y que siempre operando a una temperatura de 25°C y una irradiación solar de 1000 [W/m^2], ya que es muy difícil implementar una expresión que represente esa variabilidad.

ANEXO III: PROCESO DE REALIZACIÓN

Dentro del laboratorio de vehículos eléctricos se está trabajando en estos momentos en la conversión de un coche normal (con motor de combustión interna) a un coche totalmente eléctrico. Se cambiará el motor mecánico, pieza a pieza, por un motor eléctrico alimentado por una serie de ultracapacitores de última generación. Se estima que la carga de estos ultracapacitores dura tres minutos más o menos, aunque tiene un inconveniente, tiene una baja autonomía, es decir, los kilómetros que se podrían hacer por cada carga serían escasos. Pero se está desarrollando esta tecnología, y se espera, una futura mejora en los ultracapacitores. Dado que este cambio necesita muchos pasos y muchos cambios estamos trabajando en él diferentes alumnos, cada uno con su parte, es decir, cada uno realizará una parte distinta en la conversión.

Habiendo explicado el proyecto completo, diremos que nuestra parte es la que se encarga de cargar la batería, posteriormente utilizada para el funcionamiento de las luces, intermitentes, etc.... Para ello, instalaremos dos paneles solares o fotovoltaicos en el vehículo. Como veremos haremos una estructura de aluminio que los mantendrá bien sujetos, y llevaremos el cable hasta el motor para conectarlo al MPPT, el cual, como hemos explicado anteriormente, se encargará de controlar la carga de la batería.

ANEXO III.I: RENOVACIÓN DE LAS CELDAS

Lo primero que se realizó, fue la construcción de las placas solares. Para ello, utilizamos unas que ya estaban en el laboratorio de otros años, usadas en anteriores proyectos, por lo tanto, necesitadas de una buena renovación para adecuarlas a los requisitos de nuestro proyecto.

Se escogieron dos de ellas que estaban construidas sobre madera de bálsamo (de 9,2 Kg cada una), dado que su peso es mucho menor, y esto es un dato importante en nuestro proyecto, y se siguieron los siguientes pasos:

- Se soltaron los laterales de aluminio y se limpio bien para su posterior uso.
- Se cambio el cristal que protegía las placas por un material de parecido aspecto, pero mucho más ligero, el policarbonato. Para ello, se corto a medida para que encajara perfectamente.
- Se Sustituyeron con mucho cuidado las celdas solares que estaban obsoletas o quebradas (Se explica el proceso un poco más adelante).
- Más tarde, se colocó una serie de palos de sección cuadrada (madera de balso utilizadas para maquetas, ya que, son de pequeña sección)

por los bordes de la placa y por el interior, colocados estratégicamente, para que el policarbonato no llegue a tocar las celdas solares una vez sellado.

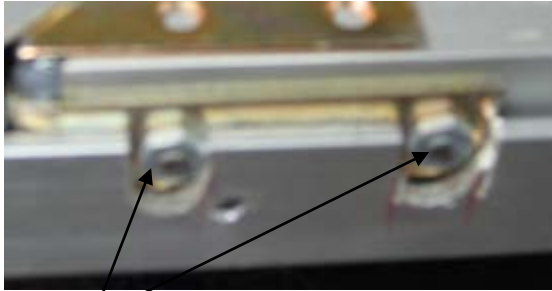


- Después de haberse cambiado las placas quebradas y teniendo todas en buen estado (comprobando su buen funcionamiento, tanto sin policarbonato como sin él y observando así que no hay perdidas de voltaje al traspasar los rayos solares), se comienza el



sellado de la placa fotovoltaica. Para ello se puso la placa en un lugar plano y con espacio (para facilitar el trabajo ya que las celdas son muy delicadas) y se colocó el policarbonato a medida encima de los palos anteriormente mencionados.

- El siguiente paso será colocar los laterales de aluminio (limpios)

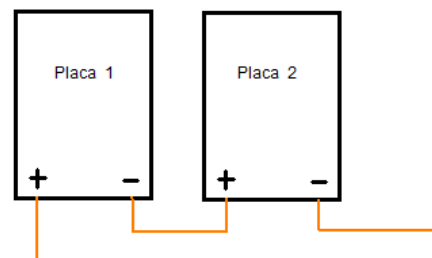


correctamente. Habrá que fijarse bien en como quedan las esquinas, ya que, se intentará que quede el menor espacio posible. Se unirá un lado con el

otro mediante unas escuadras, en este caso de acero (las más comunes), y se unirán mediante un sistema con pernos de pequeño tamaño.

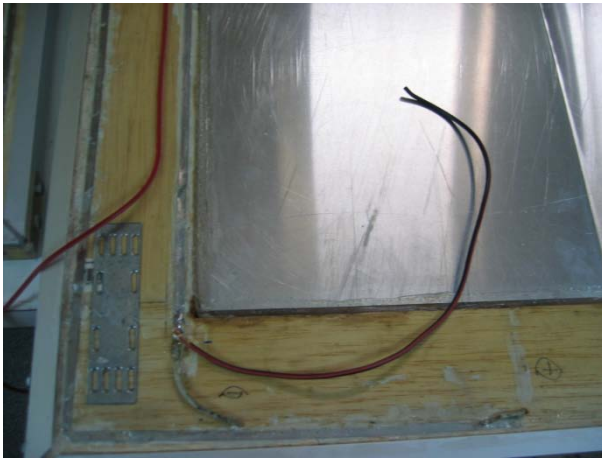
- Llegados a este punto, se deberá sellar bien la placa. De esta manera, se protegerán las celdas del agua, humedad...y se mantendrá su buen funcionamiento durante más tiempo. Para ello, se utilizará silicona transparente (ya que quedará más presencial). Con una pistola especial se irá introduciendo en el hueco que queda entre el policarbonato y el perfil (para que el hueco se mantenga bien se introducirán trocitos de la madera de balso). Se darán dos pasadas para estar asegurados que quede perfectamente sellada.

- Ya para terminar la parte de las placas se realizará el cableado por la parte trasera. Como ya se comentó las dos placas irán en serie, así que, se buscó la manera



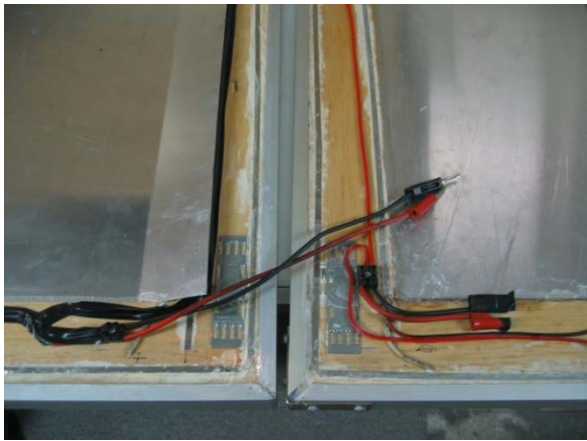
más práctica de hacerlo. Como se ve en la figura no es muy complicado, basta con saber cuál es el positivo y negativo de cada una. La unión entre placas se hará mediante unos bornes conectores,

de esta manera, se podrá soltar y juntar cuando se desee, facilitando también, el montaje y desmontaje en el vehículo. Finalmente los dos cables que salgan del circuito irán conectados a un enchufe hembra (todo esto ira sujetado a la madera de bálsamo) para que se conecte y desconecte la carga de la batería cuando se quiera. En las siguientes figuras se puede apreciar un poco el seguimiento del cableado:



- En estas dos fotografías se aprecia como el circuito trasero está hecho mediante unas láminas (denominadas en ingles bus-ribbon) que van pegadas a la madera y como, a su finalización, se suelda un cable para su posterior conexión en el circuito, anteriormente mencionado. También, se puede observar como es el terminal negativo de una de las placas (el positivo estará en el lado opuesto).

- En estas otras figuras podemos evaluar como se ha distribuido el cableado a lo largo de las placas y por donde va a ser su unión (como se ve en la primera de ellas). En las otras fotografías, se observa más específicamente como va a ser el punto de unión entre las placas. La conexión, como ya se ha dicho, se hará entre unos bornes especiales, de



un lado hembra y del otro macho (para poder juntar y soltar fácilmente). Estas conexiones salen de unos bornes de los comunes (a los cuales llegan los cables que recorren toda la placa como podemos

apreciar). Para terminar, la parte positiva de la placa izquierda irá directamente al enchufe y la negativa irá conectada al positivo de la placa derecha, que después de recorrer todo el circuito saldrá de la parte negativa que irá conectada también al enchufe. De esta manera las placas ya están conectadas en serie. Esto se puede apreciar en las fotografías si se observa con atención.





- Para finalizar se sellarán bien la parte trasera de las placas. Se hará también con un poco de silicona y con la pistola anteriormente mencionada. Todo ello proporcionará un mejor sellado.

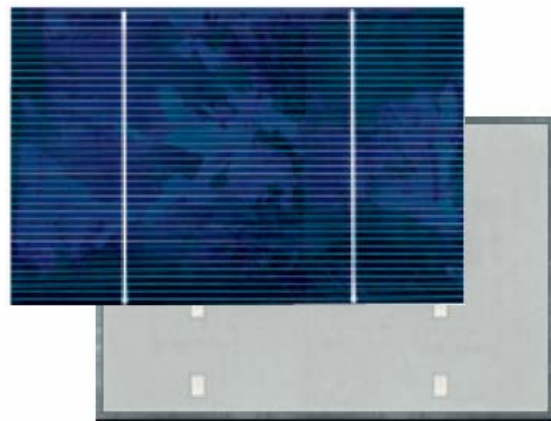


Sustitución de las placas solares

El tipo de placas que se utilizarán son de la marca Main 1530. Éstas fueron proporcionadas por nuestro tutor, las cuales tenía de anteriores proyectos. Este tipo de placas son muy sensibles, por lo que habrá que manejarlas con mucho cuidado. Se deberá pegarlas sobre alguna superficie no conductora y a una distancia prudente entre ellas (3 mm más o menos) para evitar que dilataciones o vibraciones la destruyan. Esta superficie tendrá que ser de color claro (preferentemente el blanco como las nuestras) y también de superficie lisa. Por lo tanto, se eligió la formalita para cubrir la madera. Para adherir las celdas a la formalita se utilizó una cinta adhesiva doble-faz (es decir, que pega por los dos lados). Esto permitirá que la celda no esté en contacto directo con la madera (más o menos a 1mm

de ella). Esto proporcionará además una serie de ventajas, como que circulara algo de aire entre la formalita y la celda, para ayudar a mejorar la disipación de calor. Al mismo tiempo, la cinta actuará como amortiguador para las vibraciones. Todo ello hará que la celda quede más protegida. En cada columna de celdas se pegarán 3 columnas de cintas adhesivas, una en cada costado y otra en el medio (y así evitar que las celdas se quiebren por quedar suspendidas en el aire).

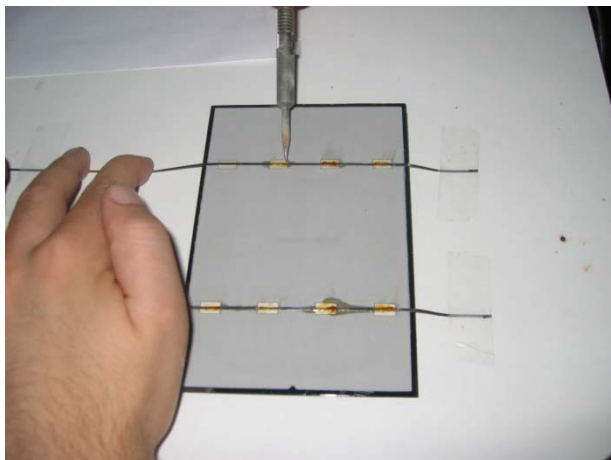
Como vemos en la siguiente figura las celdas que se utilizarán tienen 10 terminales, de los cuales 2 son por la parte delantera en forma de rieles (parte negativa) y 8 por la parte trasera (positiva) en forma rectangular.



Celda fotovoltaica MAIN1530, datasheet celda Main1530

Como ya se dijo, se conectarán las placas en serie unas con otras, uniendo los terminales positivos de una, con los negativos de otra. Para realizar esta conexión se utilizará un material especialmente diseñado para ello, que es una cinta de cobre, estaño, plomo y plata que tiene las siguientes dimensiones: 1.4mm de ancho x 0.1mm de grosor y con una cubierta de 0.0005 a 0.0007 pulgadas constituida de un 60% de estaño dopado de soldadura y un 40% de plomo enchapado (en inglés se denomina *tinned interconnection ribbon*). Esta cinta de interconexión posee las dimensiones exactas como para cubrir las barras negativas de las celdas. Por ello se soldarán la cinta por toda la línea de la parte superior y posteriormente por los 4 puntos de la parte inferior de la siguiente celda, y así, se seguirá una tras otra hasta dejarlas todas en serie. Se deberá intentar que la conectividad sea completa para evitar arcos y por lo tanto pérdidas.

Para hacerlo se colocará la cinta sobre las barras (o rectángulos por la parte posterior) y usando un soldador de estaño (cautin) se irá calentando la cinta. De esta manera, se provocará que el estaño se derrita y se adhiera a la dicha superficie. Después se pasará el soldador por encima de la cinta de forma continua para que ésta se adhiera completamente a los terminales en cuestión. En teoría esto debería funcionar fácilmente así, pero en la práctica se utilizará un tipo de pasta líquida (FLUX), se colocará encima de la cinta y al someterla al calor, penetra en ella bajando su punto de fusión, logrando que se derrita de forma acelerada el estaño. De esta manera, se evitará someter a la celda a temperaturas excesivas por un tiempo largo. Se intentará que el soldador no sobrepase los 400°C y se deberá intentar aplicar poca presión sobre las



celdas, puesto como ya se comentó, se quiebran fácilmente. Este trabajo hay que hacerlo despacio y con mucho cuidado, por lo que se colocará la placa sobre un material acolchado (que protegía las placas en la caja en que se encontraban) y antideslizante. Posteriormente, se sujetará la cinta que se quiera soldar con un poco de celo (scotch) en cada lado, de esta manera, la placa y la cinta, en el momento de soldar, no se moverán y el trabajo se nos hará más fácil. Una vez soldadas todas las placas necesarias se irán colocando en la madera junto a las demás, sustituyendo a las que estaban rotas.

Cuando sean colocadas en su sitio, lo primero que se hará será soldar las cintas conductoras que vienen de la otra placa a la parte superior de ésta, y una vez hecho esto, se pegará la placa a la madera con la cinta adhesiva anteriormente mencionada.

Terminada la primera columna se procederá a la conexión de ésta con la segunda columna. El proceso consiste en pegar una banda conectora (la bus-ribbon antes mencionada) sobre el panel y de un largo equivalente al ancho de 2,2 celdas. Como de la última celda sobresalen las cintas de los terminales positivos, éstos se soldarán a la banda. En la columna siguiente un par de cintas deben ser soldadas a la primera celda (sobre las barras negativas) y estas cintas se sueldan a la misma banda. Así las columnas se van formando. Por tanto, de la primera columna y de la última quedarán terminales sin soldar (al principio de una y final de otra) uno positivo y otro negativo. Se cortará una banda del ancho de una celda y ésta se pegará en el panel donde se soldarán dichos terminales.



De esta manera, se tendrán todas las placas conectadas en serie y en perfecto funcionamiento. Su aspecto será el siguiente:



Hay que mencionar que en cada columna se pondra un diodo bypass, para evitar que cuando la placa esté en sombra rompa la conexión en serie y por tanto deje de funcionar el sistema. Estos diodos irán entre los terminales positivos y negativos de cada columna y por detrás del panel.

Una vez realizado todo este trabajo, se tendran las placas listas para su uso. Se comprobará su funcionamiento con un voltímetro. Después de ello, se realizará la estructura que la mantendrá sujeta al vehículo.



ANEXO III.II: CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Lo primero que se pensará será en como poder sujetar la estructura al coche. La mejor idea fue colocar una parrilla (baca) encima del automóvil. No merece que gastarse mucho dinero en ella puesto que simplemente es para sujetar las placas.



Sabiendo ya donde se colocará la estructura, se comenzará a realizarla. Habrá que comprar unos perfiles de aluminio en L de 2,5x5x0,3 cm (ver más adelante en planos) y se cortarán con una sierra mecánica a 2 tamaños diferentes para formar un rectángulo (112x170 cm). Los laterales se cortarán con una sierra de ángulo, a 45°,



para que encaje una con otra perfectamente. Para que la unión sea firme, se unirán con un trocito cuadrado del mismo aluminio remachándolo por 4 puntos. Asimismo se formará el rectángulo donde irán las dos



placas que se han realizado. Para que la sujeción sea aún mejor se pondrán justo en medio otros dos perfiles de aluminio, cada uno mirando hacia un lado. Éstos también se unirán mediante unos trozos de aluminio y



remachados por 4 puntos en cada lado. Se pueden ver el resultado en las fotografías y las medidas hechas en los planos. Habiendo terminado esta estructura, lo que se

hará será pensar en cómo se colocarán las placas en su interior. Para mayor seguridad y protección se pegarán unos trozos de goma a una distancia determinada en la base del montaje,

donde posteriormente se apoyarán las placas. Esto garantizará que el aluminio y las placas no están en continuo contacto y roce. Esto es

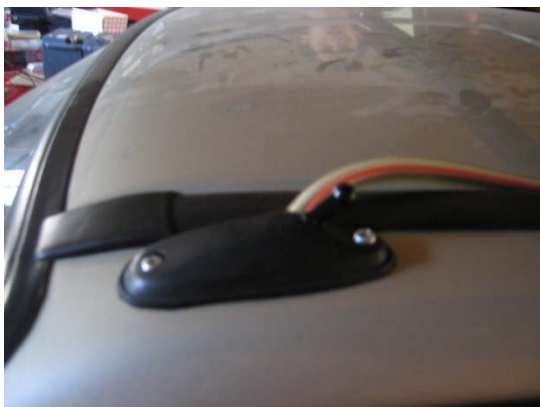


bueno, ya que, con vibraciones podrían lastimarse. Finalmente, se colocarán las placas en su interior viendo que encajan perfectamente. Si es necesario, se hará un pequeño corte para que entre bien (puesto que los tornillos de las esquinas de las placas puede que nos molesten). También se

harán unos pequeños agujeros con el taladro por todos los laterales, puesto que, una vez todo en su sitio, se colocarán otros perfiles de aluminio que cerrarán todo el montaje. Estos perfiles serán en forma de U², que formarán un rectángulo un poco mayor que la estructura (para que encaje perfectamente) de 113x171 cm. Se sujetarán tanto por arriba como por abajo y se unirán mediante unos roscalatas de pequeño tamaño por los agujeros anteriormente mencionados.

La fijación de la estructura a la parrilla se hará mediante pernos. Uno en cada extremo delantero de 1 cm de sección, y dos en cada extremo trasero de 6 mm de sección. Primero se habrá hecho los respectivos agujeros en la parrilla y la estructura con un taladro. Para asegurar la fijación, al final de cada perno se colará una golilla normal y otra de presión, seguida de una tuerca.

Con todo lo realizado hasta el momento, se tendrá prácticamente terminado el proyecto. Únicamente quedará pasar el cable que irá conectado al MPPT por el interior del vehículo. Para ello, se buscará la



mejor manera de hacerlo, intentando no lastimar el coche con agujeros. Lo que se hizo fue introducirlo por la apertura de la antena, es decir, se soltaron los tornillos que amarraban la antena, se introdujo el cable (bien

aislado y cubierto con un plástico protector) hasta sacarlo por la parte interior del vehículo cerca de los pedales. Desde aquí se aprovechó un

² Ver medidas en ANEXO IV

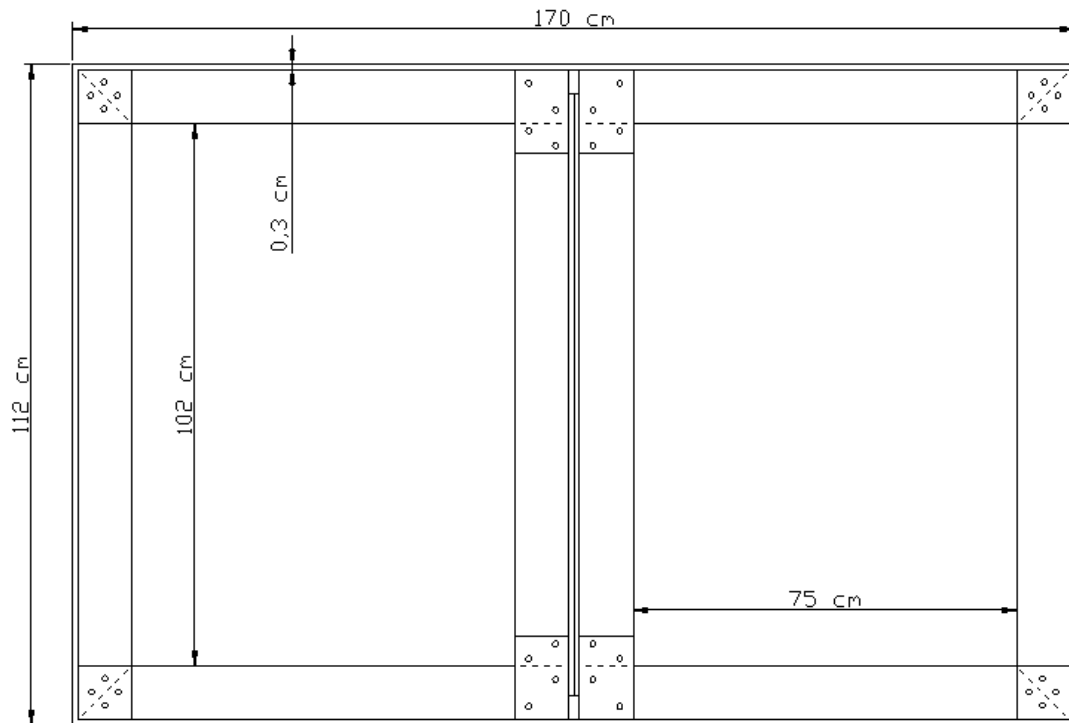
agujero que comunicaba con el motor y se pasó el cable por él. De esta manera, el cable ya estará listo para la conexión al MPPT en el habitáculo del motor (en nuestro caso se hará más adelante, puesto que primero hay que vaciar el motor mecánico e introducir el eléctrico, una vez hecho esto, se buscará el lugar donde colocarlo). Por seguridad, con un voltímetro se comprobará que da la tensión deseada y asegurarse de nuevo de su correcto funcionamiento. Una vez revisadas todas las partes, buscando algún error o fallo por si hubiera que solucionarlo, ya se habrá terminado todo el montaje. Está listo para su utilización.



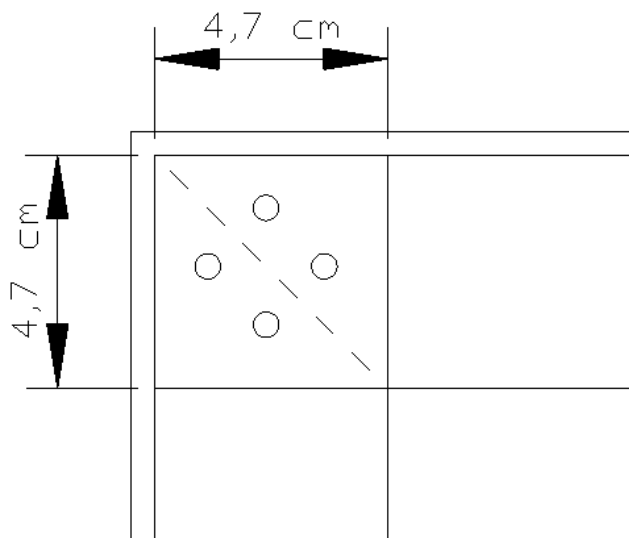


ANEXO IV: PLANOS

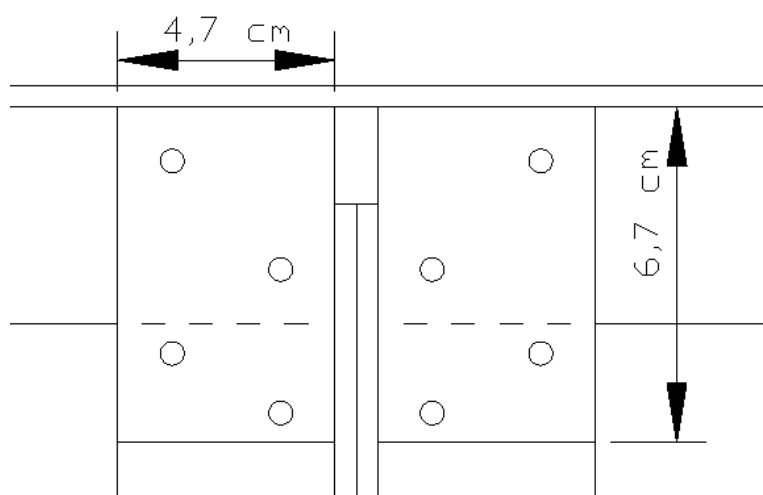
ESTRUCTURA DE LOS PANELES SOLARES



En esta figura (la estructura al completo) se puede apreciar que existen dos partes totalmente iguales, puesto que las dos placas que se colocan lo son también.

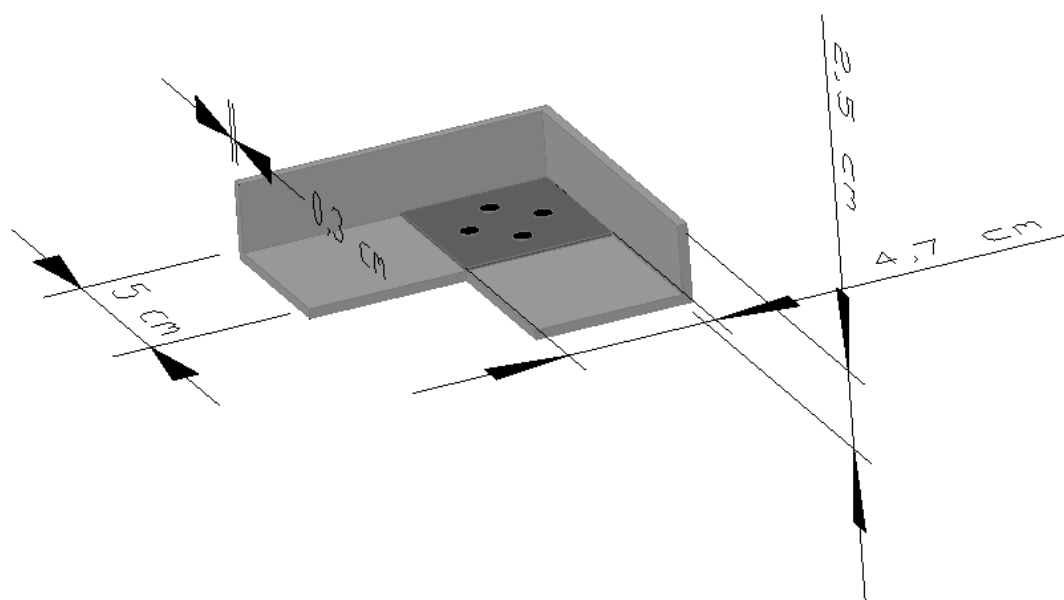


Aquí se ve una de la esquinas más detalladamente donde está la placa que une los dos laterales (las medidas son de dicha placa) haciendo firme así la estructura.



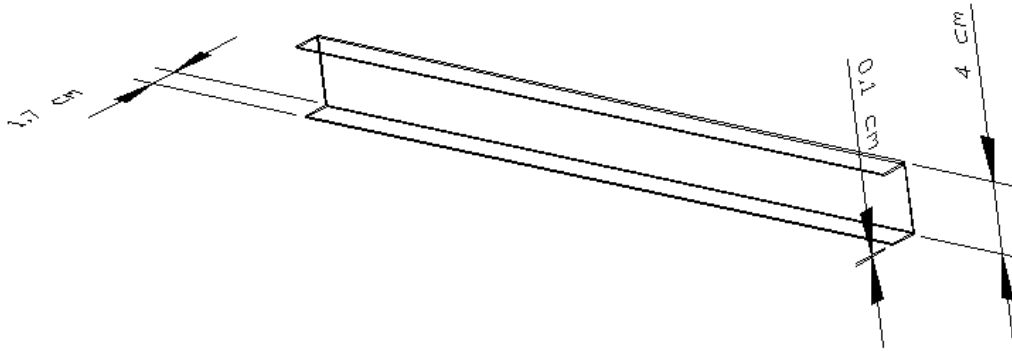
Esta vez se muestra la parte central más detalladamente, con las medidas de las placas que se colocarán para la unión.

En las dos figuras se pueden ver unos redondos. Éstos representan a los remaches que se introducirán para la unión. Con esto quedará bien sujeto.



En este dibujo se observan mejor las medidas que tendrán los perfiles utilizados.

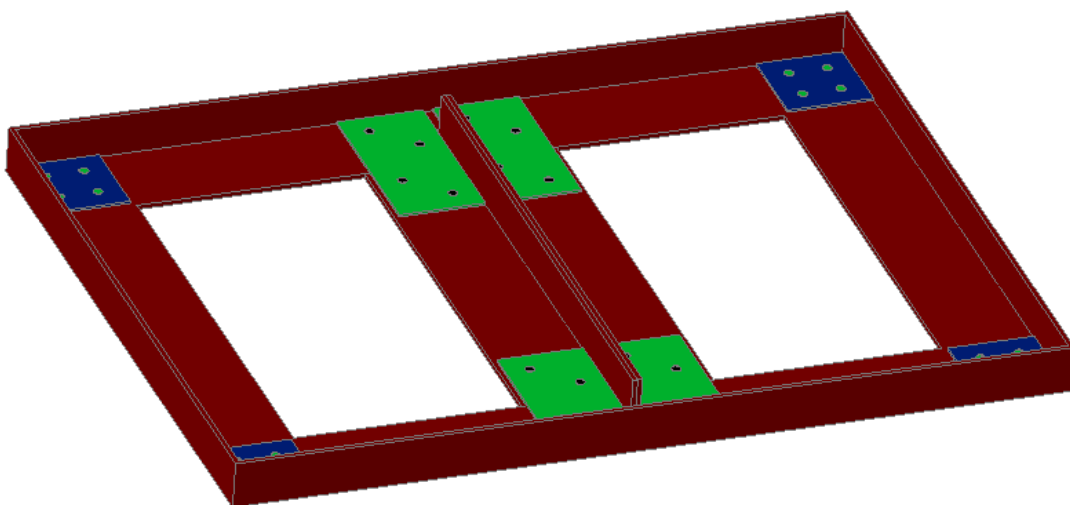
La canaleta en U final que se colocarán tendrá las siguientes medidas:



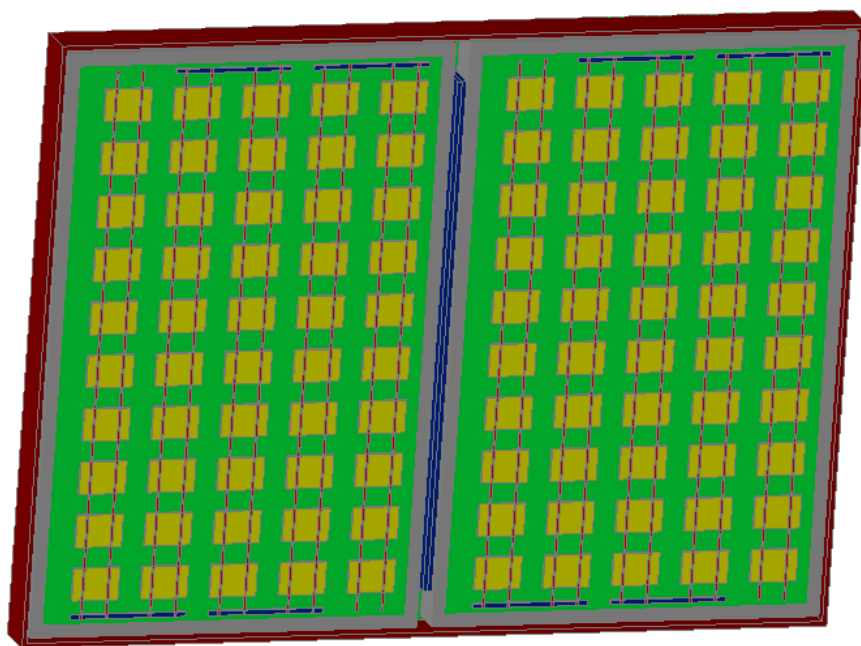
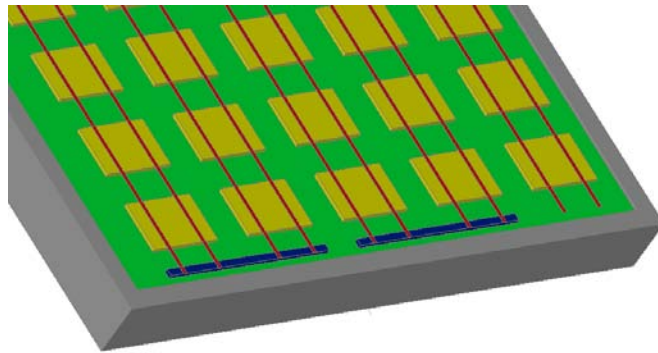
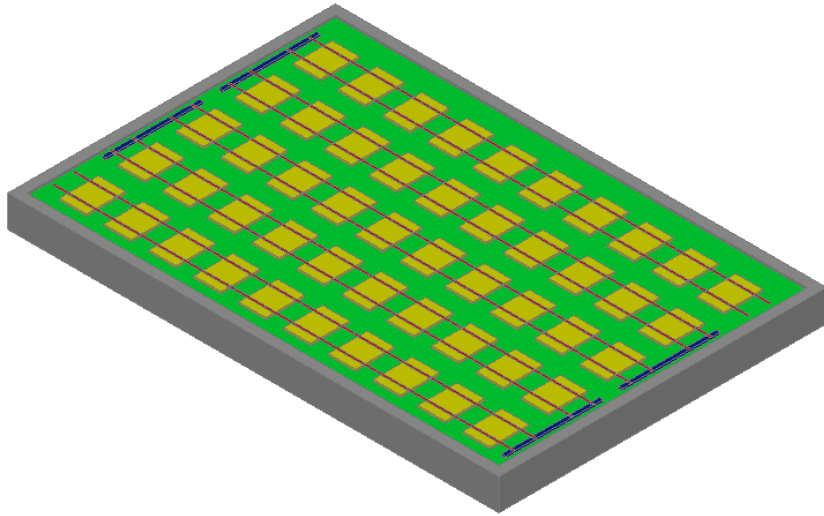
De largo, como ya se comentó, será de unos 113x171 cm.

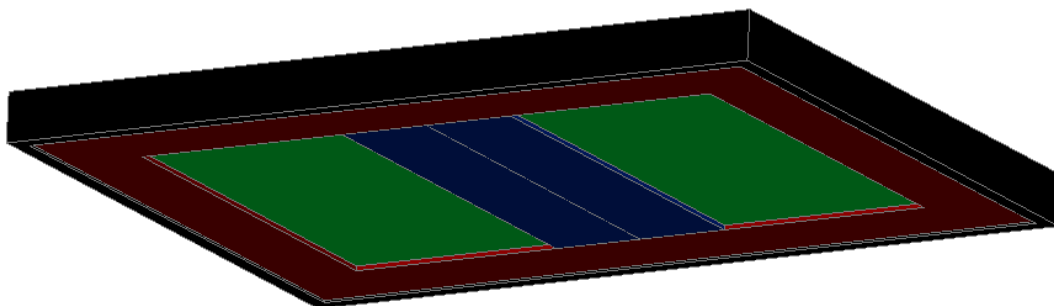
A continuación se mostrará un croquis en 3-D (realizado con el programa Auto CAD) en el que se verá cómo quedará el proyecto más o menos.

- Estructura en 3-D

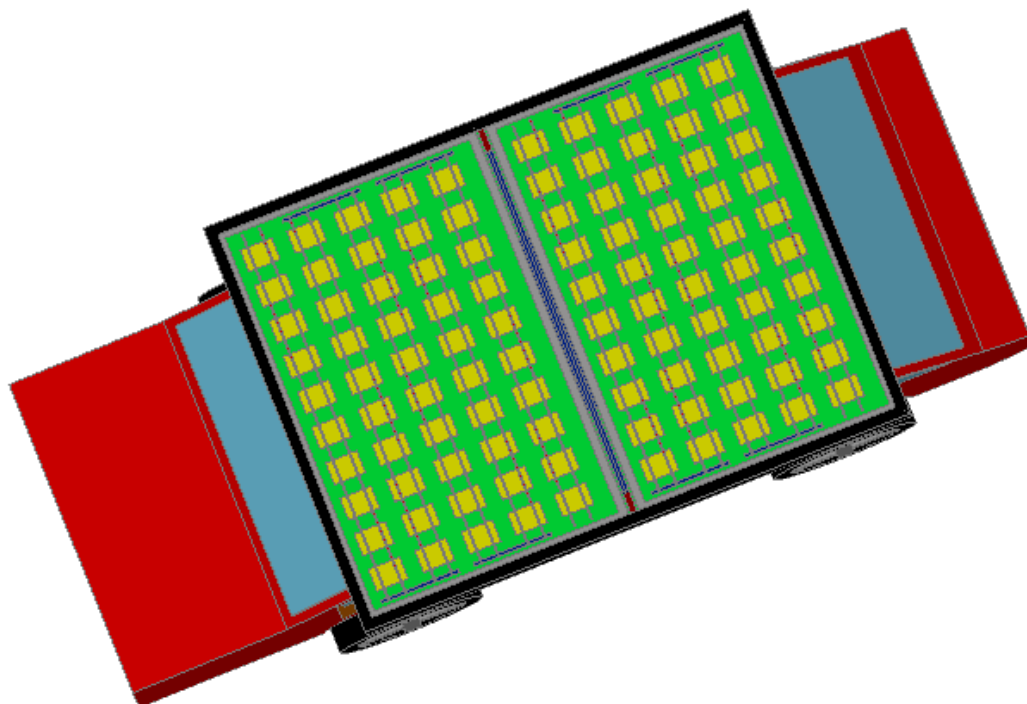


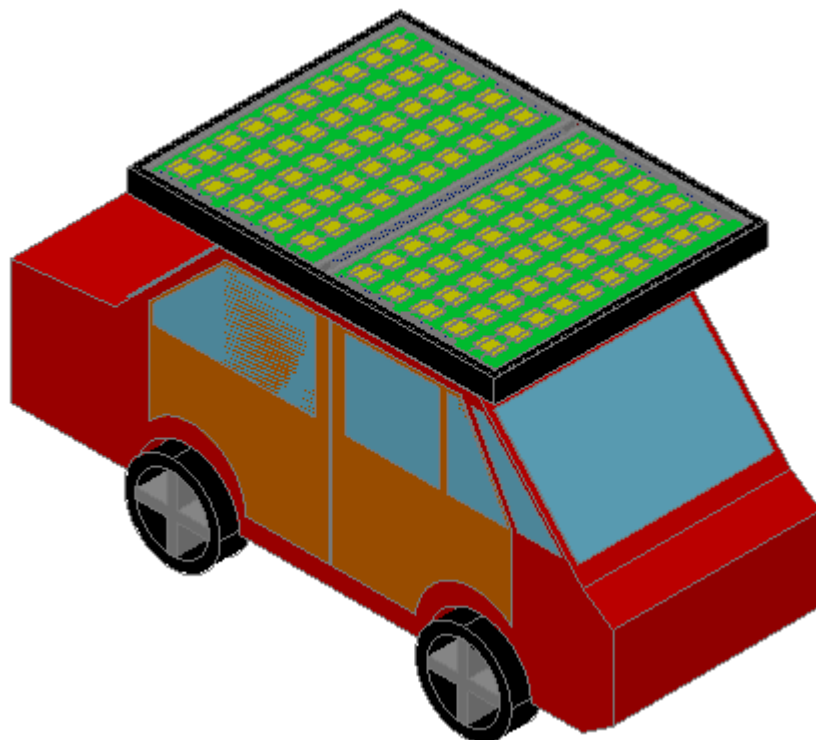
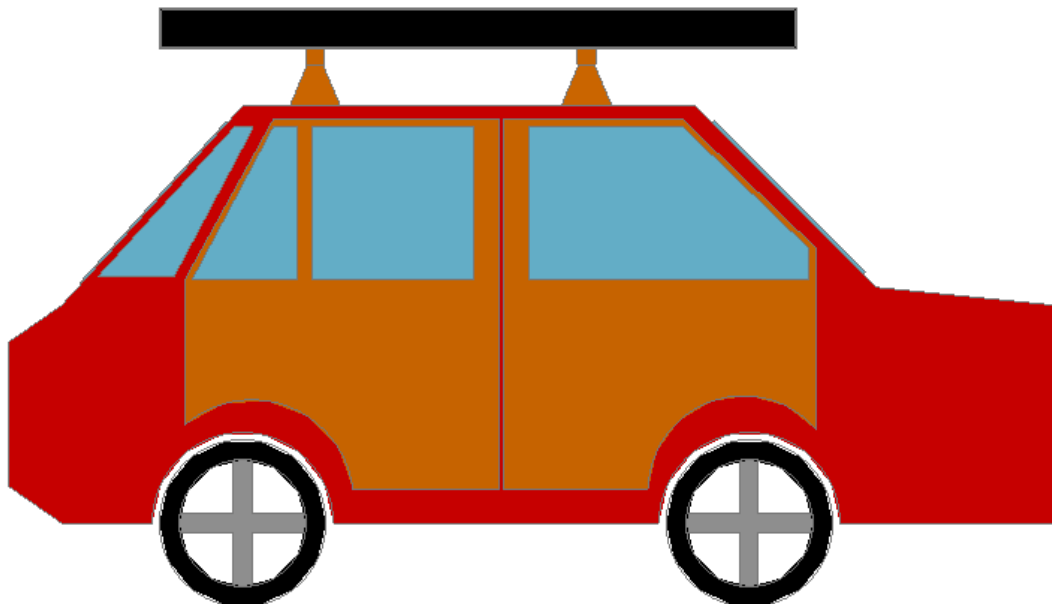
- Placas en 3-D

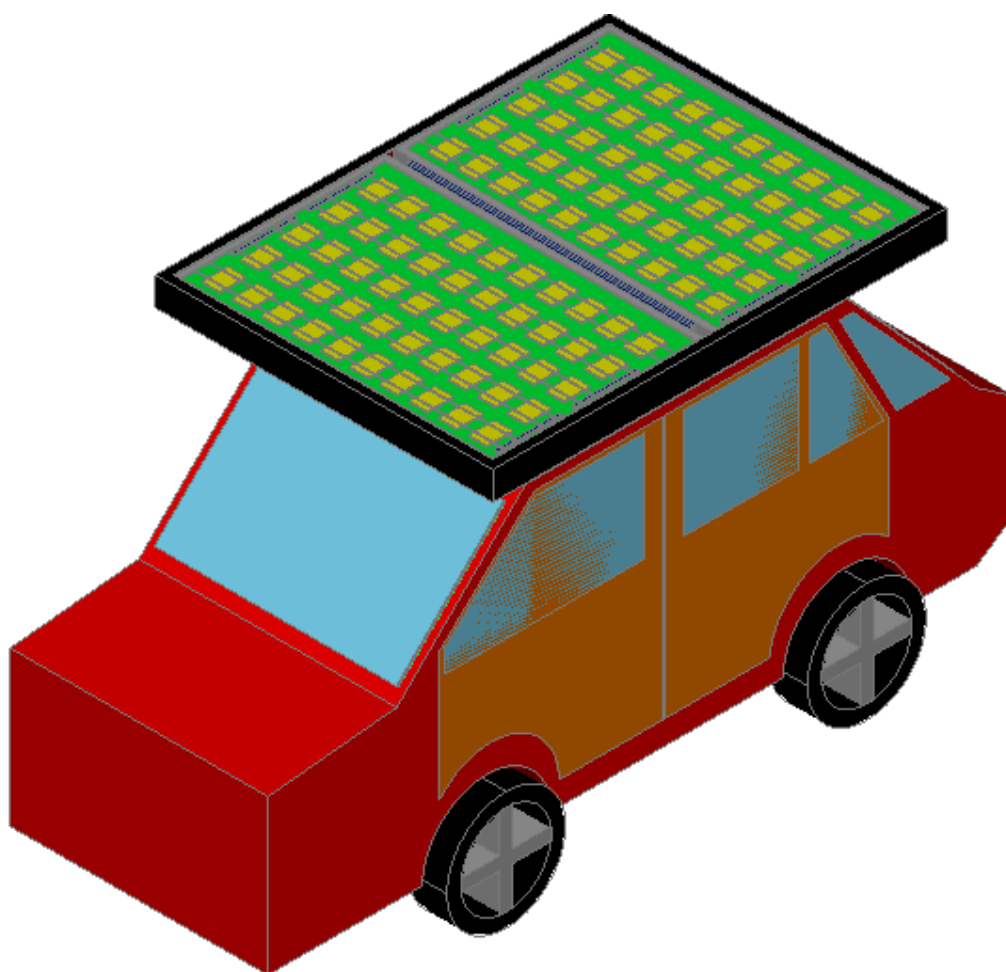
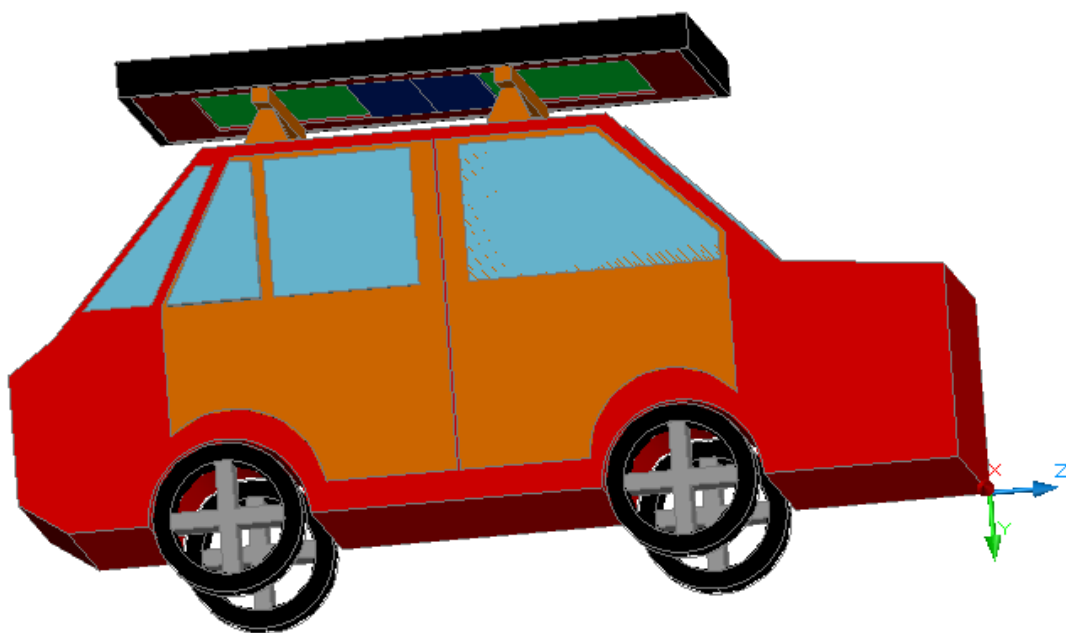


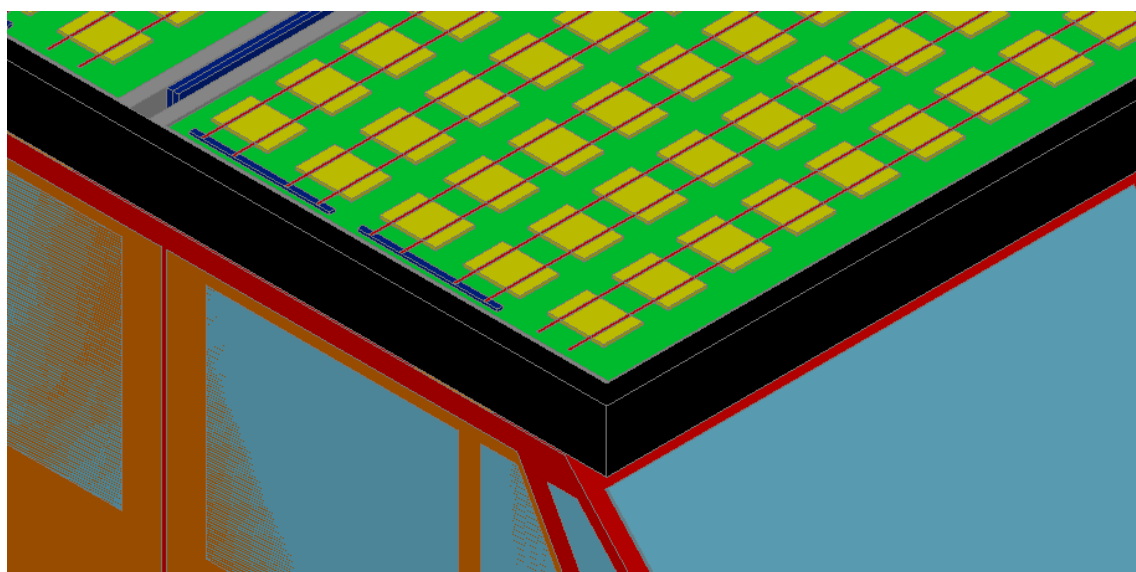
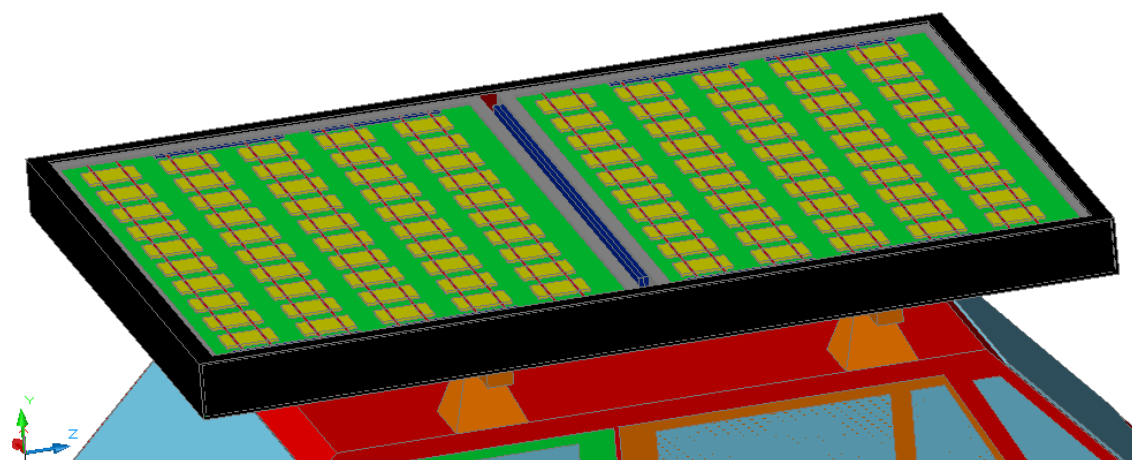


- Montaje completo del vehículo en 3-D desde distintos puntos de vista.









ANEXO V: PRESUPUESTO

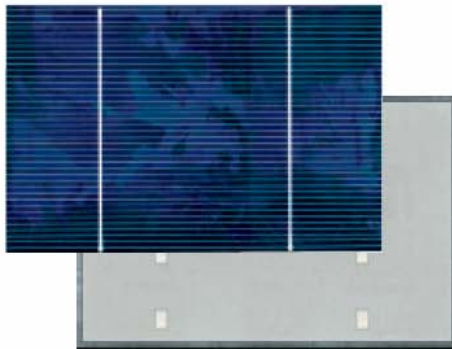
Un factor a tener en cuenta en el proyecto es su coste. En nuestro caso el precio se ha economizado gracias a que muchos de los materiales se encontraban en el taller. No se han contabilizado el coste de las placas fotovoltaicas que ya estaban realizadas, ni gastos en pegamentos, silicona... El gasto más significativo han sido sin duda el aluminio y el policarbonato.

Material	Precio por unidad	Cantidad	Precio
Perfil L Aluminio	4000 \$/m	8 metros	32000\$
Perfil U Aluminio	3000 \$/m	5,8 metros	17400\$
Policarbonato	45000\$/m ²	2	90000\$
Celdas solares	3000\$	4	12000\$
Pernos 1 mm	75\$	32	2400\$
Pernos 2 mm	150\$	4	600\$
Pernos 3 mm	250\$	2	500\$
Esquineras	300 \$	8	2400 \$
Madera de balsa	500 \$/paquete	2	1000 \$
Golillas	70 \$	6	420 \$
Tuercas 1 mm	30 \$	32	960 \$
Tuercas 2 mm	80 \$	4	320 \$
Tuercas 3 mm	100 \$	2	200 \$
Roscalatas	100 \$	18	1800\$
Parrilla	10000 \$	1	10000\$
TOTAL			172000\$

ANEXO VI: CELDA FOTOVOLTAICA MAIN 1530

MAIN-Cell 100 mm x 150 mm

MAIN-Solar Cell



MAIN-Cell 100 mm x 150 mm (front and backside view)

- High efficiency > 15%
- High resistance against breakage during module production
- Reverse voltage check of every cell
- Precise matching of cells in narrow current classes
- Highest energy yield and best long time experience in modules
- Uniform dark blue appearance



The unique RWE SCHOTT Solar cell process achieves the highest efficiencies in large-scale multi-crystalline cell production



Maximum packing factor and mono-crystalline look for high performance modules

MAIN solar cells offer essential advantages to the module manufacturer:

Performance in Modules

- Long duration electrical performance stability
- High light spectrum sensitivity and energy output
- High current output due to fine finger design (high conductance with reduced shadowing)
- Least power deviation of modules ensured by precise matching of cells, sorted 100% in narrow current classes at constant test voltage

Application in Modules

- Cell suitable for lead free soldering
- Reliable stringing due to easily solderable low resistance busbars on the front side and 8 large solder pads on the back side
- Front surface compatible with all commercially applied photovoltaic encapsulants due to proprietary Silicon Nitride AR Coating

Appearance

- Distinctive look in modules due to slightly textured surface and uniformly dark blue, shiny appearance

The Technology

MAIN-Cells (Multi-crystalline Advanced INdustrial Cells) are high efficiency silicon cells made of multi-crystalline wafers.

The wafers are converted into solar cells using proprietary cell technology of RWE SCHOTT Solar. The production features several state of the art process steps and is widely recognized as the most advanced cell line in the world.

The MAIN-Cells have proven to be easy to handle, aesthetically attractive and extremely reliable – important attributes for the core component of a PV module. MAIN-Cells of RWE SCHOTT Solar meet and exceed all requirements for current and future industrial module production.

RWE
SCHOTT Solar

Design and Mechanical Data

Principal Material	Multi-crystalline Silicon
External Dimensions	100 mm x 150 mm \pm 1.0 mm
Cell Thickness	~ 300 μ m
Type of Contacts	Front: 2 full length silver busbars Back: 2 x 4 rectangular silver contacts
Polarity	Front: negative Back: positive
Anti-reflection Coating	Silicon Nitride

Electrical data

		MAIN1526	MAIN1527	MAIN1528	MAIN1529	MAIN1530
Test Voltage	U_{ld} (mV)	500	500	500	500	500
Avg. Open Circuit Voltage	U_{oc} (mV)	592	597	603	609	613
Current at Test Voltage	I_{Uld} (A)	3.90 - 4.05	4.05 - 4.20	4.20 - 4.35	4.35 - 4.50	4.50 - 4.65
Avg. Short Circuit Current	I_{sc} (A)	4.65	4.76	4.85	4.92	4.97
Avg. Power*	P_{Uld} (Wp)	2.00	2.07	2.14	2.21	2.26
Avg. Efficiency	η_{mpp} (%)	13.5	13.9	14.3	14.7	15.1

Standard Test Conditions (STC): Light Spectrum AM 1.5 G; Irradiation Density $E = 100 \text{ mW/cm}^2$; Cell Temperature $T_c = 25^\circ\text{C}$;

Accuracy: P_{Uld} , I_{sc} , I_{Uld} : $\pm 3\%$; V_{oc} : $\pm 2\%$; I_d : load condition

* Valid for cells, power increase under encapsulated conditions subject to cell interconnector losses and encapsulation gain.

Cell temperature coefficients

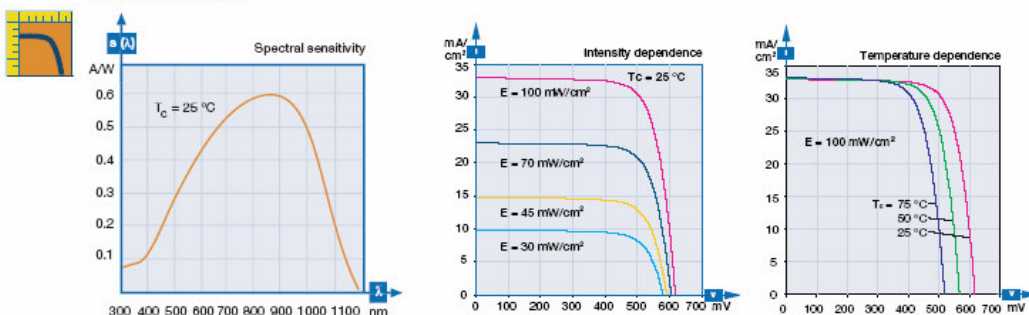
Power	$T_K (P_{mpp})$ (%/K)	- 0.4	$P_{mpp}(T) = P_{mpp}(25^\circ\text{C}) * (1 + \Delta T * T_K)$ $P_{mpp}(25^\circ\text{C}) \hat{=} P_{Uld}(25^\circ\text{C})$
Open-circuit voltage	$T_K (V_{oc})$ (mV/K)	- 2.0	$V_{oc}(T) = V_{oc}(25^\circ\text{C}) + \Delta T * T_K$
Short-circuit current	$T_K (I_{sc})$ (mA/K)	+ 4.5	$I_{sc}(T) = I_{sc}(25^\circ\text{C}) + \Delta T * T_K$

Accuracy between $25^\circ\text{C} - 75^\circ\text{C}$: P_{mpp} , I_{sc} : $\pm 3\%$; V_{oc} : $\pm 2\%$

Limits

Operating Temperature	- 50°C to $+80^\circ\text{C}$
Storage in original packing	- 60°C to $+50^\circ\text{C}$ (Humidity $\leq 55\%$)
Solder	Soft Solder Sn, 2% to 4% Ag

Electrical Curves



In the current / voltage graphs above, the current is shown per unit of cell area.

The absolute values are obtained by multiplying the cell area with the relevant current values.

RWE SCHOTT Solar reserves the right to change product specification without prior notice.

RWE SCHOTT Solar GmbH

Carl-Zeiss-Str. 4

63755 Alzenau, Germany

P +49 (0) 60 23 / 91-05

F +49 (0) 60 23 / 91-17 00

E sales@rweschottsolar.com

I www.rweschottsolar.com



ANEXO VII: MPPT SUNSAVER 15A



SUNSAVER MPPT™

CONTROLADOR DE PANELES SOLARES CON DETECCIÓN DE PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA

El controlador de paneles solares **SunSaver MPPT** de Morningstar con TrakStar Technology™ es un avanzado controlador de carga de baterías con capacidad de detección de punto de máxima potencia, para paneles fotovoltaicos independientes de la red eléctrica. El controlador aplica un avanzado algoritmo de búsqueda para extraer máxima potencia del panel fotovoltaico y controla la carga de las baterías a fin de evitar descargas profundas.

El SunSaver MPPT es apto para uso a nivel profesional e individual. El proceso de control de carga está concebido para obtener máxima vida útil de la batería y alto rendimiento del sistema completo. La unidad está encapsulada en epoxi para protegerla contra las condiciones ambientales de servicio, el usuario puede regular su funcionamiento con cuatro selectores o conectándola a una computadora personal, y opcionalmente puede suministrarse con un instrumento de medición a distancia y sensor de temperatura de baterías.



15 Amperes a
12/24 Voltios CC

Principales características y beneficios:

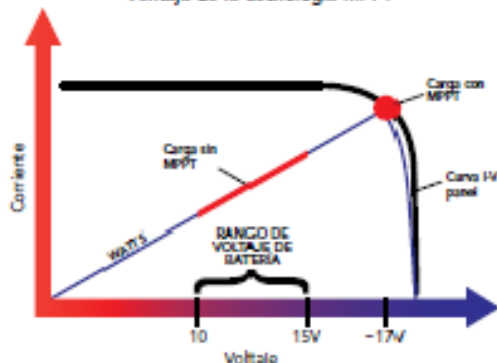
- **Máxima extracción de energía de los paneles**
Nuestra tecnología TrakStar MPPT Technology brinda:
 - rendimiento pico superior al 97%
 - ínfima pérdida de energía
 - reconocimiento de varios picos de potencia durante períodos de sombra o en instalaciones combinadas de grupos de paneles fotovoltaicos
 - excelente respuesta con bajo nivel de irradiación solar
- **Compatibilidad con módulos de alto voltaje**
Permite utilizar módulos de alto voltaje y de película fina para la carga de baterías.
- **Convertir des panneaux photovoltaïques de 36 V ou 24 V**
Es posible utilizar paneles fotovoltaicos de hasta 36 Voltios para cargar baterías de 24 o 12 Voltios.
- **Menor costo total del sistema**
Cuesta menos que otros controladores con detección de punto de máxima potencia (MPPT) y es de costo razonable para utilizarlo en paneles fotovoltaicos de menor capacidad (hasta 400 Watts de pico (Wp)). Reduce el costo total de un sistema porque pueden utilizarse paneles de menor capacidad acoplados a la red eléctrica o módulos de película fina, y los cables de la instalación son de menor medida.
- **Control en derivación**
Puede programarse para controlar la carga de baterías con una carga resistiva auxiliar de CC.
- **Control de alimentación de cargas**
Desconecta automáticamente las cargas conectadas a la batería cuando el estado de carga de la misma es muy bajo.
- **Menor tamaño**
De dimensiones más reducidas que otros controladores con detección de punto de máxima potencia (MPPT). Esto facilita su instalación en tableros con otros equipos.
- **Alta fiabilidad funcional**
Los componentes electrónicos de alto rendimiento, un factor térmico de diseño de amplio margen y protección climática le confieren al controlador alta fiabilidad funcional y larga vida útil.
- **Regulación de modo funcional**
Mediante selectores integrados a la unidad o vía computadora personal.
- **Protecciones electrónicas completas**
Totalmente protegido contra la mayoría de los errores y fallas del sistema.
- **Prolongada vida útil de la batería**
La tecnología de detección de punto de potencia máxima (MPPT) y la carga de cuatro etapas prolongan la vida útil de la batería.
- **Más información**
El LED indicador de estado y el medidor opcional ofrecen datos adicionales del controlador y del sistema.
- **Registro de datos**
Registra los principales parámetros de funcionamiento del sistema de paneles solares y posee una capacidad de almacenamiento de datos de 30 días.

SUNSAVER MPPT™

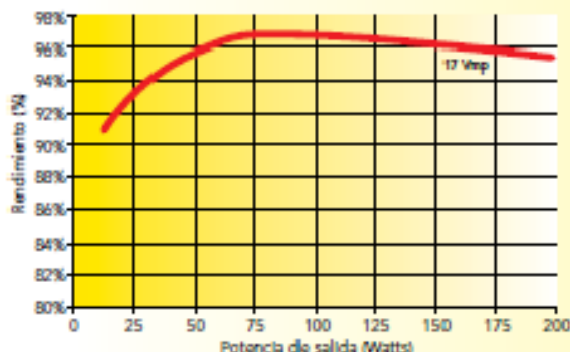
CONTROLADOR DE PANELES SOLARES



Ventaja de la tecnología MPPT



Rendimiento del SS-MPPT (12 Voltios)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Parámetros eléctricos

- Rendimiento máximo: 97.5%
- Voltaje nominal de batería: 12 o 24 Voltios
- Corriente máxima de batería: 15 amperes
- Rango de voltaje de batería: 7-36 Voltios
- Voltaje máximo de paneles con circuito abierto: 75 Voltios
- Aporte nominal máximo de paneles:
 - Batería de 12 Voltios: 200 Watts
 - Batería de 24 Voltios: 400 Watts
- Salida nominal: Control de carga de 15 amperes
- Consumo propio: 35 miliamperes
- Protección contra picos transitorios: 4 x 1500 Watts

Condiciones ambientales de servicio

- Temperatura de servicio: -40°C a +60°C
- Temperatura de almacenamiento: -55°C a +100°C
- Humedad: 100%, sin condensación
- Protección climática: Encapsulado en epoxi, Revestimiento apropiado, Terminales aptos para atmósfera marina

Protecciones electrónicas

- Paneles fotovoltaicos: sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Circuito de carga: sobrecarga y cortocircuito
- Inversión de polaridad: batería, paneles fotovoltaicos y carga
- Descargas atmosféricas y picos transitorios
- Alta temperatura
- Corriente inversa de noche

Carga de baterías

- Tipos de batería: Gel, selladas, AGM ("secas"), electrolito líquido
- Carga en 4 etapas: Principal (a corriente constante), absorción, flotante, equalización (balance de carga) (opcional)
- Compensación de temperatura:
 - Coeficiente: -5 mV/°C / celda (25°C de ref.)
 - Rango: -30°C a +60°C
 - Puntos de calibración: Absorción, flotante y equalización

Características físicas

- Dimensiones: 16.9 x 6.4 x 7.3 cm / 6.6 x 2.5 x 2.9 pulgadas
- Peso: 0.60 kg / 1.3 libras
- Terminal de potencia: 16 mm² / AWG N° 6
- Caja: Aluminio fundido con tapa de plástico

Opciones

- Medidor remoto
- Sensor de temperatura remoto
- Adaptador MeterBus para PC
- Mordazas de montaje en riel DIN

Certificaciones/Normas

- Cumple con normas CE
- Cumple con normas RoHS
- Fabricado en una planta con certificación ISO 9001

GARANTÍA: Cinco años de garantía. Comuníquese con Morningstar o un distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:



1098 Washington Crossing Road
Washington Crossing, PA 18977 USA
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458
e-mail: info@morningstarcorp.com
Sitio en Internet: www.morningstarcorp.com

IMPRESO EN EE.UU. 2115-RS-0100

